

BAB IV

METODE PENELITIAN

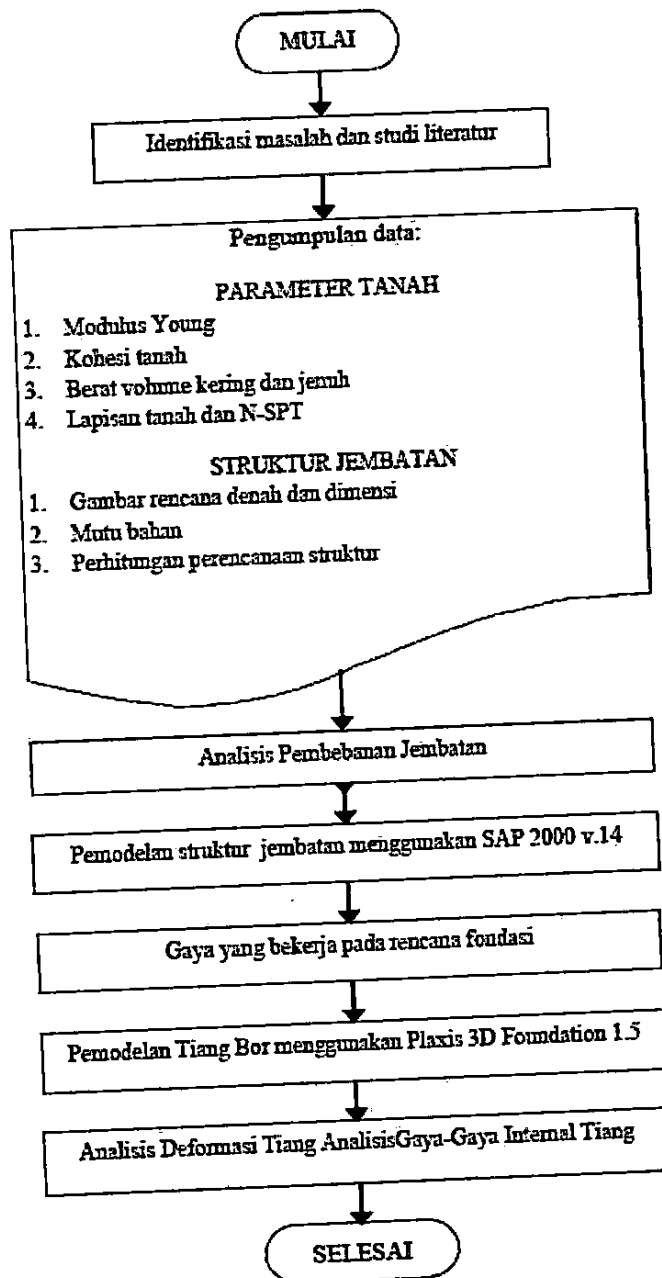
A. Prosedur Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini adalah analisis tentang gaya-gaya dan deformasi pada kelompok tiang bor dengan menggunakan metode elemen hingga. Secara umum analisis dilakukan dengan 2 cara yaitu perhitungan manual dan perhitungan komputer menggunakan *software*. Untuk melakukan perhitungan diperlukan dasar teori dan persamaan-persamaan empiris untuk menyelesaikan permasalahan. Sedangkan analisis secara komputer memerlukan persiapan parameter-parameter yang tepat, metode yang *valid* dan pengolahan *output* menjadikan suatu informasi yang dapat diterima. Alur penelitian ditunjukkan dengan bagan alir pada Gambar 4.1

B. Objek Penelitian

Objek penelitian atau objek yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Jembatan Layang Jombor yang terletak di simpang Jombor, Slmen, Provinsi DI Yogyakarta. Jembatan layang merupakan salah satu bagian jenis kontruksi simpang susun Jombor, karena pada tempat yang sama terdapat kontruksi underpass. Struktur jembatan merupakan beton prategang dengan gelagar *box* beton (*concrete box girder*) yang berpenampang trapesium. Jembatan ini dibuat dengan sistem menerus (*continuous beam*). Total panjang jembatan adaah 600 m (tidak termasuk oprit) yang terdiri atas 12 bagian dengan panjang masing-masing bagian 50 m. Gelagar dan lantai jembatan ditopang dengan pilar-pilar yang didukung dengan sistem fondasi tiang bor kelompok (*group bored pile*). Obiek

penelitian dipersempit sehingga analisis struktur jembatan dihitung sebagian yaitu bagian *ramp* (tikungan arah menuju Magelang) meliputi pilar P2-R1-R2-R3-R4-A2, sehingga struktur jembatan yang dikaji dalah sepanjang 250 m (Gambar 4.4). Adapun kajian tentang struktur bawah yaitu fondasi kelompok dipilih lokasi pilar R3 (terletak dekat dengan pintu masuk Terminal Jombor).



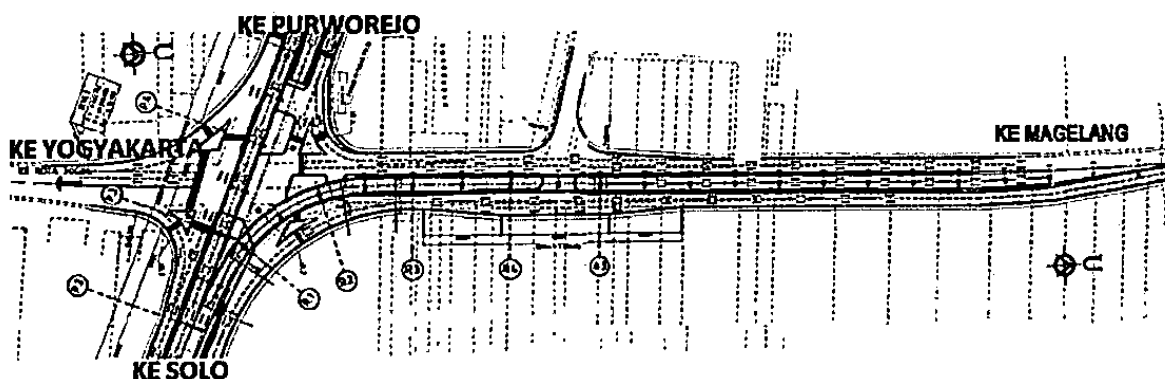
Gambar 4.1 Bagan alir penelitian

C. Data Yang Digunakan

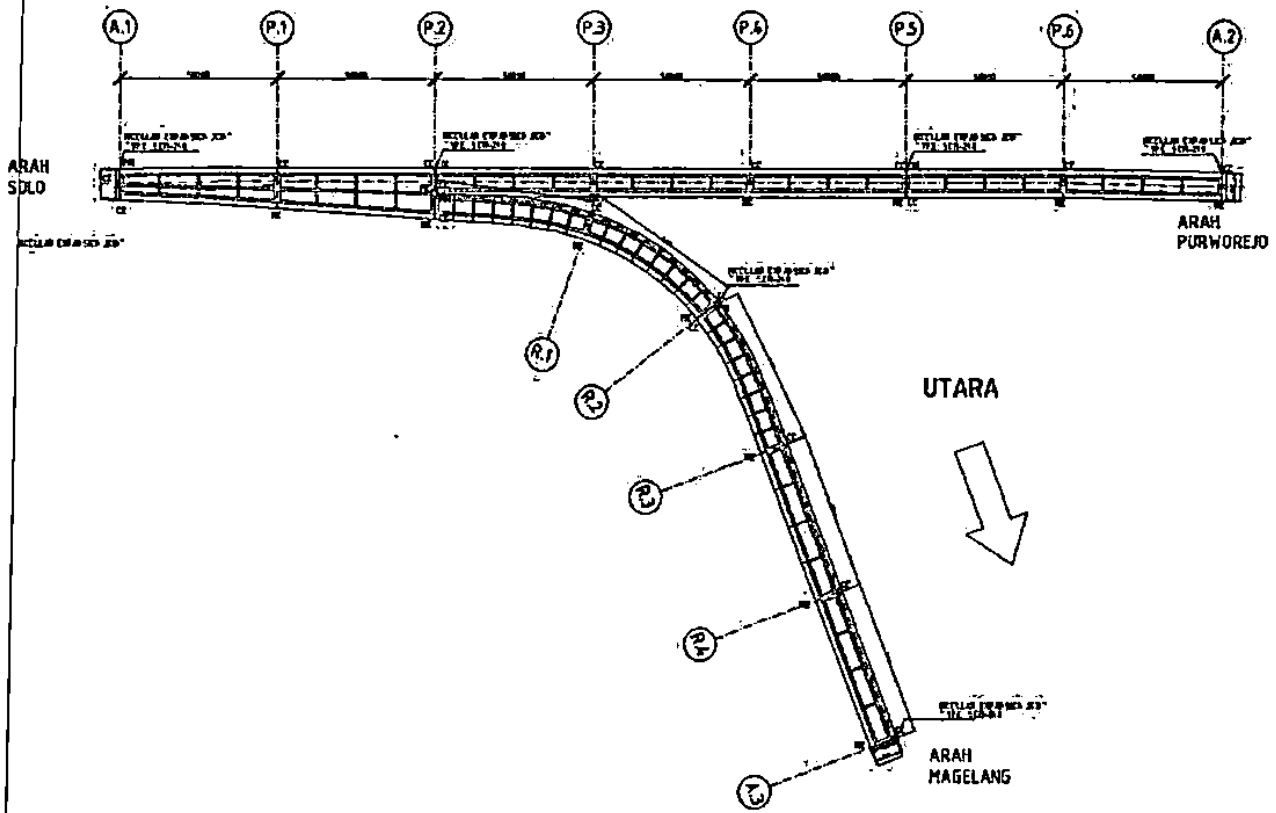
Pada penelitian ini, data diperoleh dari PT. Anugerah Kridapradana (JO) CV. Bangun Cipta Persada, sebagai konsultan pengawas proyek Proyek Pembangunan Jembatan layang Jombor yang sedang dibangun persimpangan Mlati, Sleman. Adapun data yang digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Gambar Detail dan Denah Jembatan

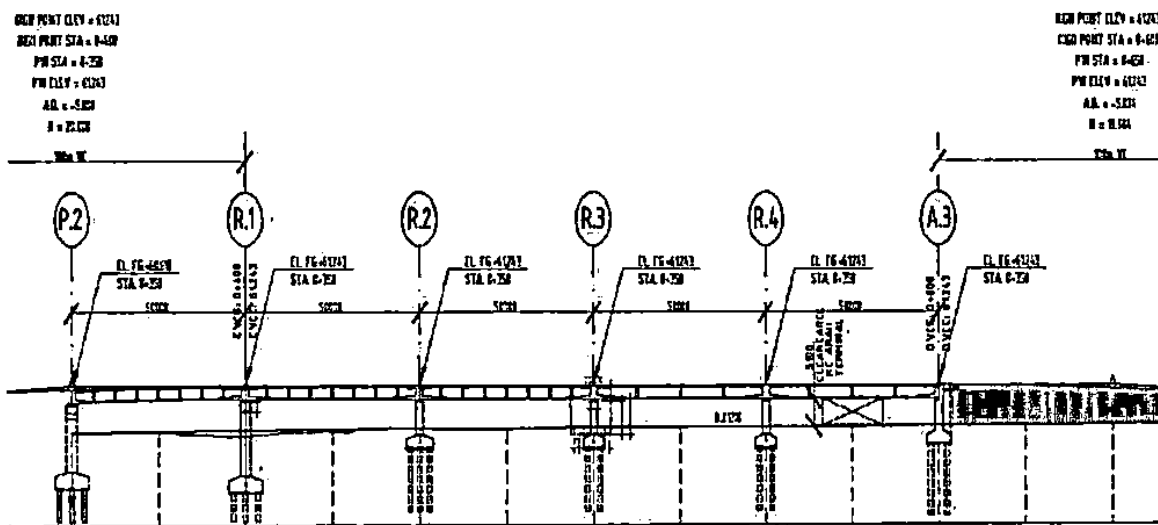
Struktur jembatan layang Jombor dibangun pada simpang Jombor yang saling menghubungkan antara Yogyakarta – Purworejo – Magelang – Solo (Gambar 4.2). Jembatan layang ini memiliki panjang total 1.125 m dengan rincian, dari arah Solo (timur ke barat) sepanjang 675 meter, kemudian di tengah simpang ke arah Magelang sepanjang 450 meter. Struktur utama jembatan terdiri dari 3 *abutment*, 3 *oprit*, 10 pilar dan 12 bentang jembatan (Gambar 4.3). Antar pilar-*abutment* dan pilar-pilar masing-masing memiliki bentang jembatan 50 m. Struktur atas jembatan menggunakan tipe gelagar beton boks prategang (*prestress concrete box girder*) berbentuk trapesium dimana mempunyai lebar 9 m dengan ketebalan 2,5 m. Lantai jembatan didesain untuk jalur kendaraan 2 lajur 1 arah, dengan lebar lajur 2 x 3,5 m adapun sisa lebarnya digunakan untuk marka jalan dan drainasi (0,5 m) dan *barrier* (0,5 m) (Gambar 4.5).



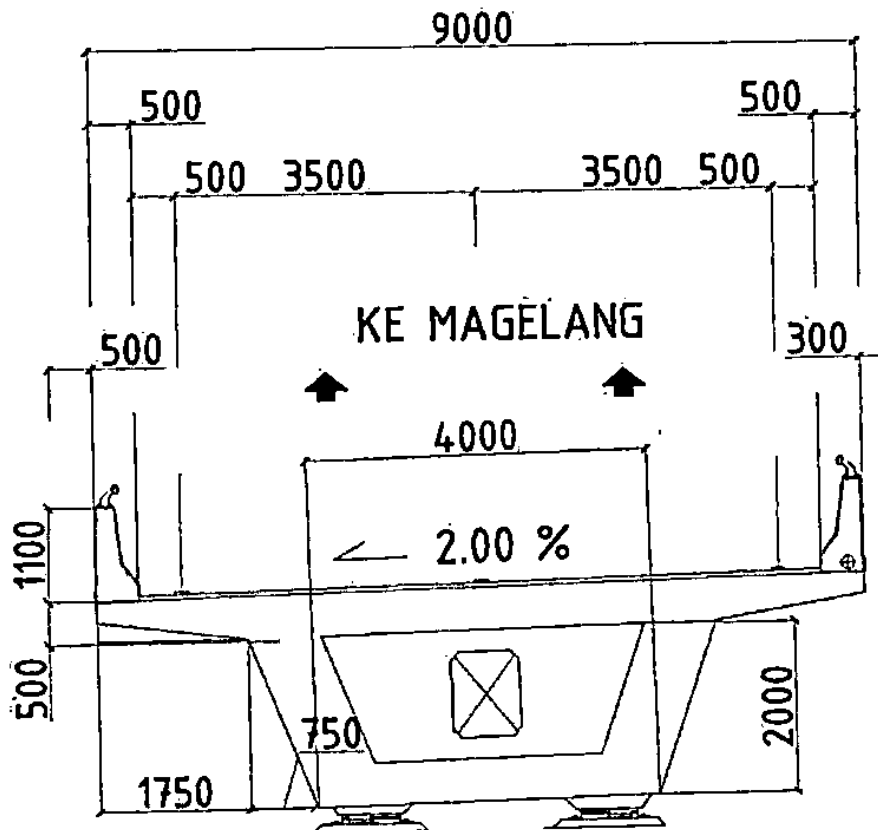
Gambar 4.2 Lokasi Jembatan Layang Jombor



Gambar 4.3 Denah Jembatan Layang Jombor

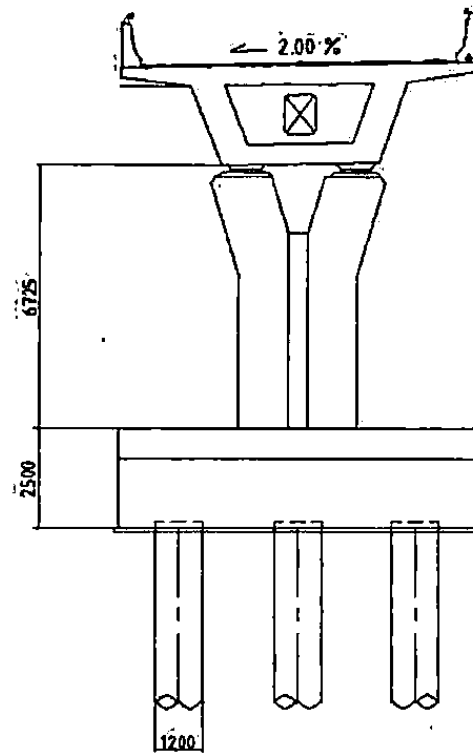


Gambar 4.4 Tampak samping jembatan selok B2 A2

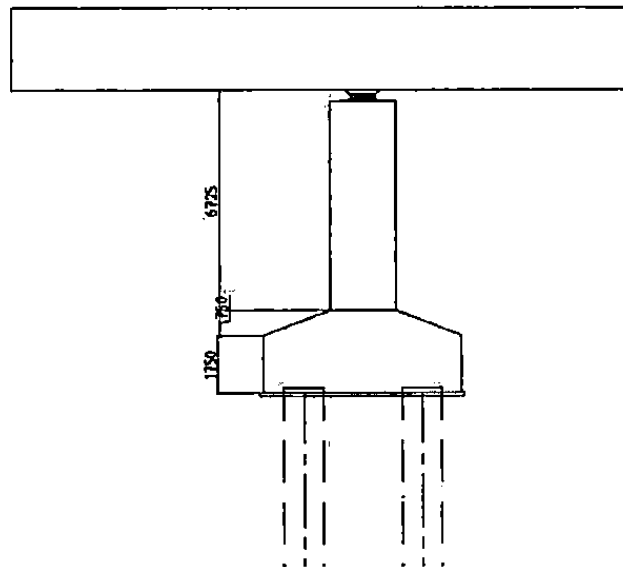


Gambar 4.5 Dimensi struktur atas *box girder*

Pada bagian struktur bawah terdapat pilar, *pile cap*, dan fondasi tiang bor. Masing-masing pilar dan *pile cap* mempunyai bentuk dan dimensi yang berbeda. Yang menjadi ciri khas pilar-pilar pada jembatan layang Jombor ini bentuknya yang menyerupai huruf "Y" (Gambar 4.6a). Secara umum struktur *pile cap/footing* memiliki ketebalan 2,5 m sedangkan struktur fondasi tiang



(a)



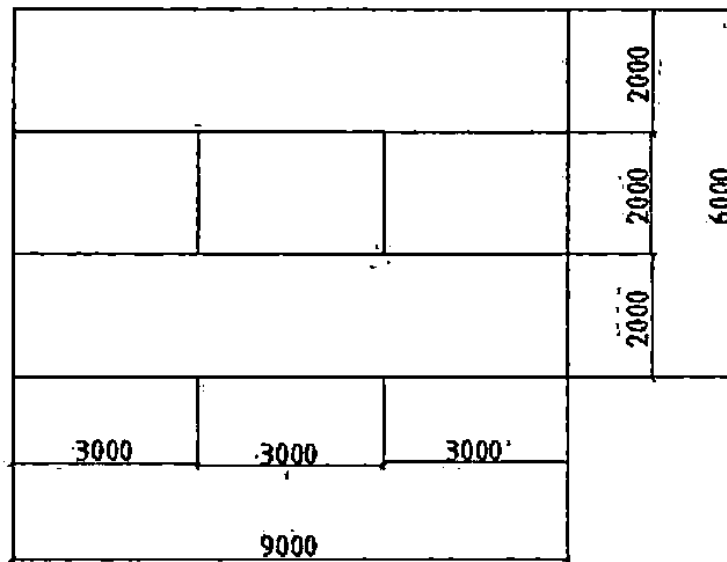
(b)

Gambar 4.6 (a) Tampak depan struktur bawah (pilar dan fondasi), (b) Tampak samping struktur bawah (pilar dan fondasi) R3

Pada lokasi R3 terdapat beberapa data dimensi struktur bawah yaitu

lebar pondasi 6.725 m, dimensi penampang pilar 2 m x 2 m, tebal pelat cap 2.5

m, dimensi bidang *pile cap* 9 m x 6 m, dan panjang tiang bor adalah 30 m (Gambar 4.7).



Gambar 4.7 Dimensi *pile cap* R3

2. Mutu Bahan

a. Beton

Sebagian besar material penyusun jembatan terdiri dari beton dan baja tulangan. Berdasarkan perencanaan, setiap bagian jembatan memiliki mutu bahan yang berbeda-beda disesuaikan dengan peruntukannya. Pada Tabel 4.1 disajikan data mutu beton yang digunakan pada pembangunan jembatan. Lantai jembatan dan elemen struktural bangunan atas lainnya menggunakan mutu beton minimal K-350, untuk bangunan bawah adalah K-250 termasuk tiang pancang. Dalam perencanaan seringnya parameter kekuatan material dinyatakan dalam Satuan Internasional, oleh karena itu nilai kekuatan beton dinyatakan dalam f_c' (kuat tekan beton silinder)

Tabel 4.1 Mutu beton dan kegunaannya pada Jembatan Layang Jombor

Mutu Beton	Penggunaan
K-125	<i>Lean concrete</i>
K-175	<i>Secant pile(borpile 800mm sekunder), sleeper scaffolding</i>
K-250	<i>Pile cap, drainasi kota</i>
K-350	<i>Bore pile, rigid pavement, bak pompa, drainase underpass, pier, abutment</i>
K-500	<i>Box girder</i>

Tabel 4.2 Modulus elastisitas beton

No	Struktur	Mutu Beton	W_c (kN/m^3)	f_c' (MPa) *	E_c (MPa)**
1	<i>Box girder</i>	K-500	25,5	41	35670
2	<i>Bore-pile, pilar</i>	K-350	25	29	25332
3	<i>Pile cap</i>	K-250	25	21	21410

$$* f_c' = 0,83(K_c/10)$$

$$** E_c = 4700\sqrt{f_c'} \text{ (untuk beton normal); atau } E_c = 0,043(W_c^{1,5}\sqrt{f_c'})$$

dengan :

E_c = Modulus elastisitas beton, MPa

f_c' = kuat tekan beton, MPa

W_c = berat volume beton, 1500 – 2500 kg/m^3 .

b. Tendon dan baja tulangan

Selain beton bahan yang digunakan dalam struktur adalah tendon dan baja tulangan. Syarat mutu tendon pada *box girder* disajikan pada Tabel 4.3.

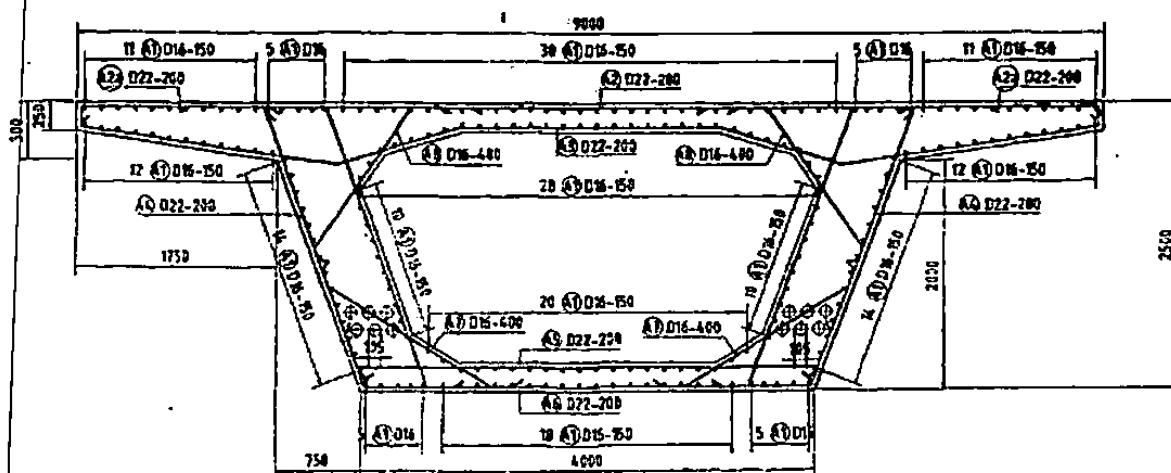
Pada material tulangan beton baja yang digunakan memiliki diameter yang beragam mulai dari 12 mm, 16 mm, 19 mm, 25 mm dan 32 mm

Mutu tulangan didasarkan pada diameter besi dengan catatan $\emptyset \leq 12\text{mm}$ BJTP-24, $f_y = 240\text{ MPa}$ dan $\emptyset > 12\text{ mm}$ BJTD-40, $f_y = 390\text{ MPa}$.

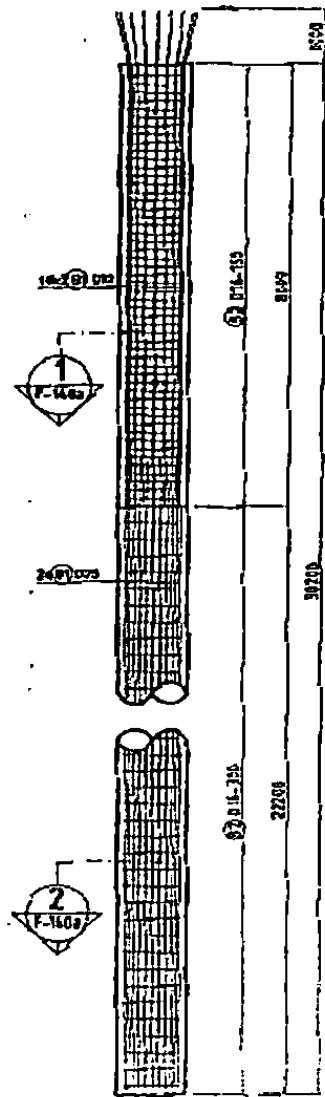
Tabel 4.3 Tabel mutu tendon

Parameter	Mutu
Jenis kawat baja <i>stressing</i>	<i>Multi-Strand Post-Tensioning System super strand 0.5" atau 0.6" (15,24 mm)</i>
<i>Low Relaxation</i>	2,5 % at 70% GUTS
Tegangan tarik Putus	1860 MPa
Tegangan Leleh	1670 MPa
Modulus Elastisitas	195000 MPa

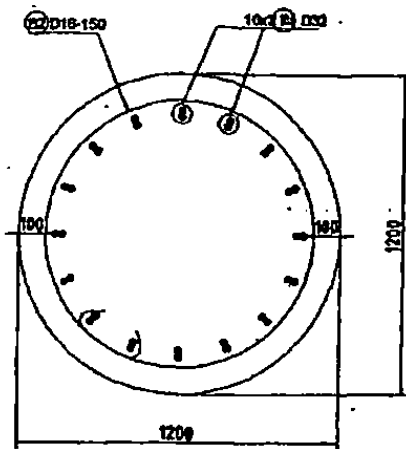
Pada gelagar *box girder*, tulangan lentur menggunakan diameter 22 mm sedangkan tulangan geser menggunakan diameter 16 mm (lihat Gambar 4.8). Penulangan struktur fondasi tiang bor diilustrasikan pada Gambar 4.9a, untuk bagian atas (kedalaman 0 – 8 m) menggunakan 16 buah tulangan lentur dobel diameter 32 mm dan tulangan geser diameter 16 mm (Gambar 4.9b), sedangkan pada bagian bawah (kedalaman 8 – 30 m) menggunakan 24 tulangan lentur diameter 25 mm dan tulangan geser diameter 16 mm (Gambar 4.9c).



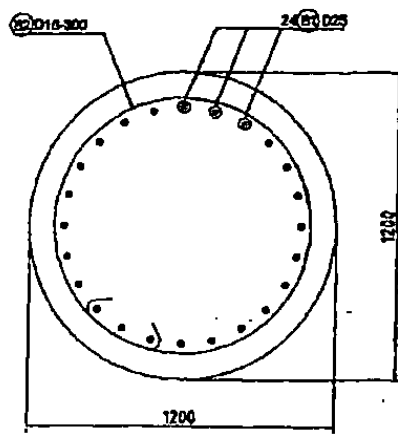
Gambar 4.8 Tipikal penulangan box girder tipe single cell



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.9 (a) Tampilan penulangan tiang bor (b) penulangan tiang bor bagian atas (c)

3. Data Lapisan Tanah

Pada Jembatan layang Jombor, penyelidikan tanah yang dilakukan adalah pengeboran untuk mendapatkan sampel tanah dengan metode *rotary drilling* yang sekaligus melakukan penyelidikan *Standard Penetration Test (SPT)* yang meliputi penyelidikan sifat-sifat fisik dan sifat mekanik tanah. Adapun data penyelidikan tanah dapat dilihat sebagai berikut

a. Data SPT

Berdasarkan hasil bor log, pengujian SPT dilakukan sampai kedalaman tanah 30 m. Dan diketahui bahwa muka air tanah berada pada kedalaman 10 m. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.10.

b. Data pengujian laboratorium

Berdasarkan pengeboran tanah yang dilakukan, sampel tanah diambil pada 3 titik pengambilan yaitu pada kedalaman (7,0-7,5) m, (15,0-15,5) m, (23-23,5) m. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Lapisan Tanah dan Sifat-Sifatnya

No	Kedalaman	w (%)	G_s	Jenis tanah	Parameter Kuat Geser		γ_b (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
					ϕ (°)	c (kPa)		
1	7,00-7,50	28	2,52	Lempung berpasir	28	1.962	17,607	13,753
2	15,00-15,50	22	2,67	Pasir berlempung	27	0,98	17,477	14,275
3	23,00-23,50	35	2,58	Lanau	25	5,88	15,876	11,793

(Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah Jembatan Layang Jombor, Laboratorium

Tabel 4.5 Data pukulan SPT

Kedalaman*	N (blow/ft)	N1/P**	N2/P	N3/P	N/30***
0	0	0	0	0	
2	25	(9/15)	(12/15)	(13/15)	25
4	19	(10/15)	(8/15)	(11/15)	19
6	11	(5/15)	(5/15)	(6/15)	11
8	17	(8/15)	(7/15)	(10/15)	17
10	21	(5/15)	(6/15)	(15/15)	21
12	26	(11/15)	(12/15)	(14/15)	26
14	44	(10/15)	(18/15)	(26/15)	44
16	36	(10/15)	(17/15)	(19/15)	36
18	37	(8/15)	(16/15)	(21/15)	37
20	31	(12/15)	(15/15)	(16/15)	31
22	13	(4/15)	(9/15)	(7/15)	13
24	19	(3/15)	(6/15)	(13/15)	19
26	27	(13/15)	(12/15)	(15/15)	27
28	44	(11/15)	(19/15)	(25/15)	44
30	60	(24/15)	(33/15)	(27/15)	60
32	60	(17/15)	(23/15)	(37/15)	60
34	60	(23/15)	(48/15)	(12/15)	60
36	60	(23/15)	(48/15)	(12/15)	60

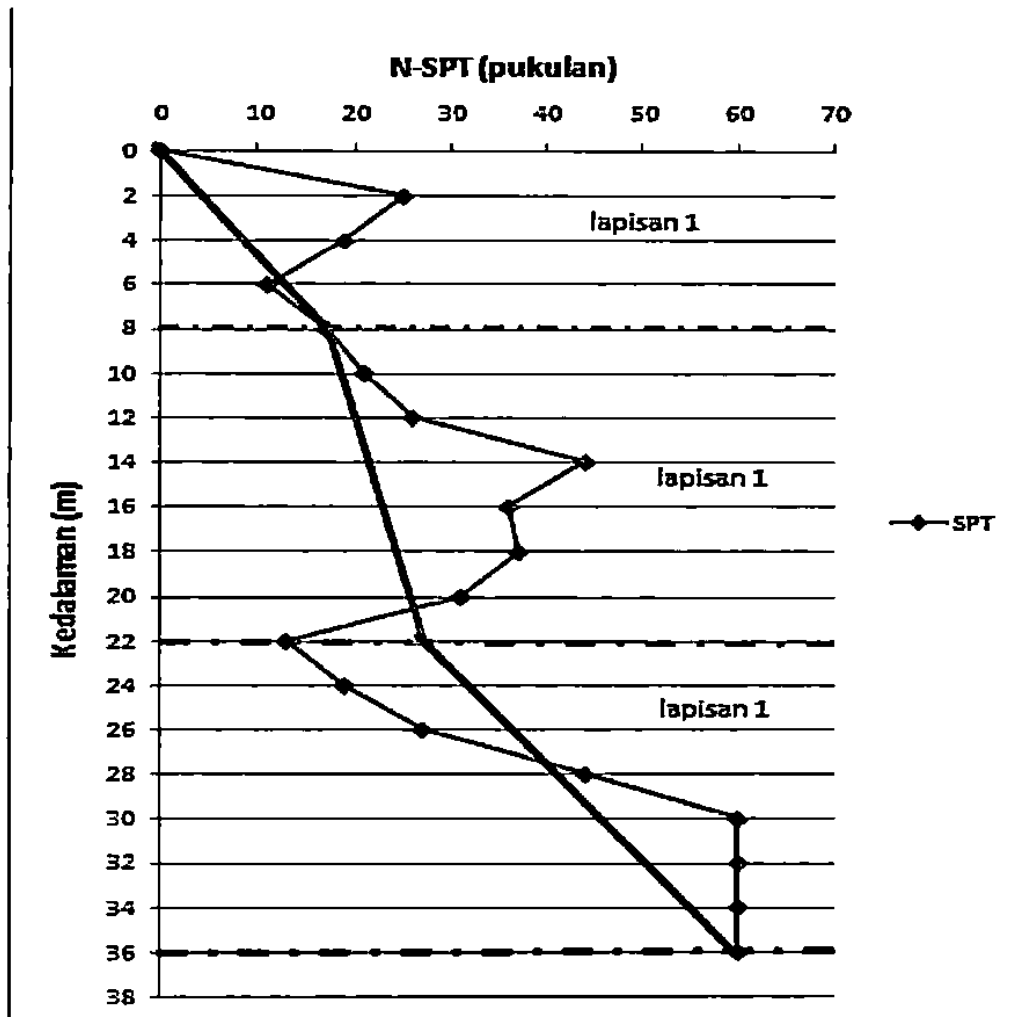
Catatan :

*) Pengujian SPT dilakukan setiap pertambahan kedalaman 2 m.

**) pukulan pertama (N1) merupakan pukulan permulaan dengan penetrasi 15 cm namun datanya tidak dipakai karena penetrasinya belum stabil.

***) N-SPT merupakan jumlah pukulan dari penetrasi sedalam 30 cm. Data diambil dari akumulasi pukulan kedua(N2) dan pukulan ketiga (N3)

yang mana masing-masing penetrasinya sama besar, yaitu 15 cm



Gambar 4.10 Grafik SPT dan lapisan

4. Penentuan Parameter Tanah dan Material Struktur bawah

Untuk mendefinisikan lapisan tanah pada program *Plaxis*, terlebih dahulu harus memasukan data-data penyelidikan tanah yang menunjukkan keadaan asli di lapangan. Dikarenakan pemodelan tanah menggunakan teori Mohr Coulomb maka data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

Tidak semua data dapat langsung diinputkan dalam program *Plaxis*, misalnya harus mengkonversi satuan gaya dari MKS ke Satuan Internasional (SI) dalam bentuk kN. Selain itu untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas pada lapisan tanah peneliti menghitung dengan rumus korelasi N-SPT. Adapun rincian sifat tanah dapat dilihat pada perhitungan berikut :

- a. Pengambilan sampel tanah pada kedalaman 7,00 – 7,50 m dengan jenis tanah lempung berpasir (*sandy loam*)

$$\text{Model bahan} = \text{Mohr-Coulomb}$$

$$\text{Perilaku bahan} = \text{drained}$$

$$\text{Nilai } N_{60} \text{ rata-rata} = \frac{25+19+11}{3} = 18,33 \text{ pukulan}$$

$$\gamma_d \text{ (Dry density)} = 1,403 \text{ gr/cm}^3 = 13,753 \text{ kN/m}^3$$

$$G_s \text{ (Specific gravity)} = 2,52$$

$$w \text{ (Water content)} = 27,98 \%$$

$$v \text{ (Poisson's ratio)} = 0,3$$

$$e \text{ (void ratio)} = w \times G_s = 0,2798 \times 2,52 = 0,705$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{sat}} \text{ (Saturated density)} &= \frac{G_s + e}{1 + e} \times \gamma_w \\ &= \frac{2,52 + 0,705}{1 + 0,705} \times 9,81 \\ &= 18,555 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\phi \text{ (friction angle)} = 27,92^\circ$$

$$c \text{ (cohesion)} = 0,02 \text{ gr/cm}^3 = 1,962 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} E \text{ (Young's Modulus)} &= 320 \times (N_{60} + 15) \\ &= 320 \times (18,33 + 15) \\ &= 10667 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R \text{ (Interface reduction factor)} &= \tan 2/3\phi \\ &= \tan (2/3 \times 27,92) \\ &= 0,34 \end{aligned}$$

- b. Pengambilan sampel tanah pada kedalaman 15,00 – 15,50 m dengan jenis tanah pasir mengandung lempung (*loamy sandy*)

Model bahan = Mohr-Coulomb

Perilaku bahan = *drained*

Nilai N_{60} rata-rata = $\frac{17+21+26+44+36+37+31+13}{8} = 28,125$ pukulan

γ_d (*Dry density*) = $1,457 \text{ gr/cm}^3 = 14,275 \text{ kN/m}^3$

G_s (*Specific gravity*) = 2,67

w (*Water content*) = 22,42 %

ν (*Poisson's ratio*) = 0,3

e (*void ratio*) = $w \times G_s = 0,2242 \times 2,67 = 0,599$

γ_{sat} (*Saturated density*) = $\frac{G_s + e}{1 + e} \times \gamma_w$
 = $\frac{2,67 + 0,599}{1 + 0,599} \times 9,81$
 = $20,058 \text{ kN/m}^3$

ϕ (*friction angle*) = $27,47^\circ$

c (*cohesion*) = $0,01 \text{ gr/cm}^3 = 0,98 \text{ kN/m}^3$

E (*Young's Modulus*) = $4000 \ln N_{60}$
 = $4000 \times \ln 28,125$
 = $13346,4 \text{ kN/m}^2$

R (*Interface reduction factor*) = $\tan 2/3\phi$
 = $\tan (2/3 \times 27,47)$
 = 0,33

- c. Pengambilan sampel tanah pada kedalaman 23,00 – 23,50 m dengan jenis tanah lanau (*silt*)

Model bahan = Mohr-Coulomb

Perilaku bahan = *drained*

Nilai N_{60} rata-rata = $\frac{19+27+44+60+60+60+60}{7} = 47,143$ pukulan

(*Dry density*) = $1,202 \text{ gr/cm}^3 = 11,792 \text{ kN/m}^3$

$$\begin{aligned}
 v \text{ (Poisson's ratio)} &= 0,3 \\
 e \text{ (void ratio)} &= w \times G_s = 0,348 \times 2,58 = 0,898 \\
 \gamma_{\text{sat}} \text{ (Saturated density)} &= \frac{G_s + e}{1 + e} \times \gamma_w \\
 &= \frac{2,58 + 0,898}{1 + 0,898} \times 9,81 \\
 &= 17,977 \text{ kN/m}^3 \\
 \varphi \text{ (friction angle)} &= 25,64^\circ \\
 c \text{ (cohesion)} &= 0,06 \text{ gr/cm}^3 = 5,880 \text{ kN/m}^3 \\
 E \text{ (Young's Modulus)} &= 300 \times (N_{60} + 6) \\
 &= 320 \times (47,143 + 6) \\
 &= 15942,857 \text{ kN/m}^2 \\
 R \text{ (Interface reduction factor)} &= \tan 2/3\varphi \\
 &= \tan (2/3 \times 25,64) \\
 &= 0,31
 \end{aligned}$$

d. Material tiang bor (*bored-pile*)

$$\begin{aligned}
 \text{Model bahan} &= \text{Elastis-linier} \\
 \text{Perilaku bahan} &= \text{non-porous} \\
 \text{Mutu beton} &= \text{K-350} \\
 \gamma_d \text{ (Density)} &= 24 \text{ N/m}^3 \\
 v \text{ (Poisson's ratio)} &= 0,2 \\
 E \text{ (Young's Modulus)} &= 4700 \sqrt{f_c'} \times 1000 \text{ (kN/m}^2) \\
 &= 4700 \sqrt{(K_{\text{beton}} \times \frac{0,83}{10})} \times 1000 \\
 &= 4700 \sqrt{(350 \times \frac{0,83}{10})} \times 1000 \\
 &= 25332084 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$R \text{ (Interface reduction factor)} = 1$$

e. Material lantai (*floor or pile cap*)

$$\begin{aligned}
 \text{Model bahan} &= \text{Elastis-linier} \\
 \text{Perilaku bahan} &= \text{non-porous}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu beton} &= \text{K-250} \\
 \text{Ketebalan} &= 2,5 \text{ m} \\
 \gamma_d \text{ (Density)} &= 24 \text{ N/m}^3 \\
 \nu \text{ (Poisson's ratio)} &= 0,2 \\
 E \text{ (Young's Modulus)} &= 4700\sqrt{f'c'} \times 1000 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\
 &= 4700 \sqrt{\left(K_{\text{beton}} \times \frac{0,83}{10}\right) \times 1000} \\
 &= 4700 \sqrt{\left(250 \times \frac{0,83}{10}\right) \times 1000} \\
 &= 21409519 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$R \text{ (Interface reduction factor)} = 1$$

D. Analisis Pembebanan dan Analisis Struktur Jembatan

Analisis pembebanan diperlukan untuk mengetahui besar beban yang akan diterima fondasi. Analisis pembebanan dikerjakan dengan bantuan program SAP 2000 v.14. Analisis pembebanan mengacu pada Pedoman Perencanaan Teknik Jembatan 1992, Departemen Pekerjaan Umum.

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), pembebanan jembatan dapat dikategorikan menjadi beban primer, sekunder, dan beban khusus. Namun pada penelitian ini, pembebanan terfokus pada beban primer dan beban sekunder. Beban primer terdiri dari beban mati dan beban hidup, sedangkan beban sekunder yang dianalisis terdiri dari beban angin, gaya rem, dan beban gempa.

Untuk perhitungan digunakan berat jenis bahan per satuan volume (m^3) sebagai berikut :

Tabel 4.6 Berat Volume Bahan

Jenis Bahan	Lambang	Berat	Satuan
Beton bertulang	w'_c	25	kN/m^3
Beton prestress	w_c	25,5	kN/m^3
Beton	w''_c	24	kN/m^3
Aspal	w_{aspal}	22	kN/m^3
Air Hujan	w_{air}	9.8	kN/m^3

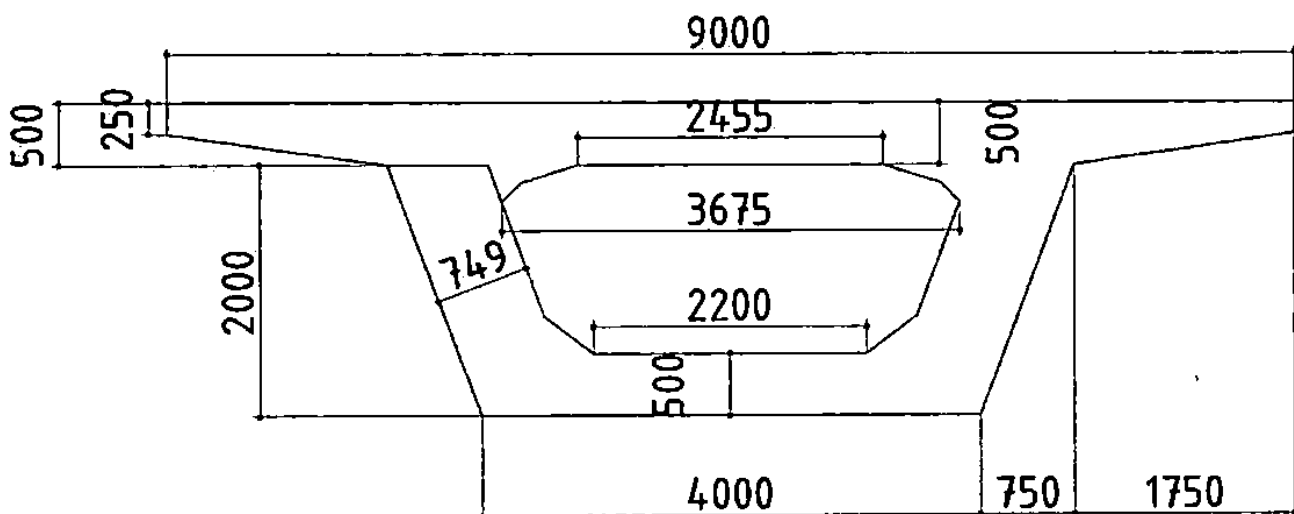
1. Beban Sendiri (MS)

Beban sendiri merupakan berat sendiri dari struktur atas yang terakumulasi dari box girder, diafragma, barrier (Tabel 4.9). Beban sendiri dihitung dari luasan penampang dikalikan dengan berat volume bahan dan panjang bentang. Pada program SAP 2000 beban sendiri box girder dan diafragma sudah terhitung secara otomatis, maka input pembebanan yang dilakukan secara manual adalah untuk beban barrier saja.

a. Box Girder

Tahap awal untuk menentukan berat sendiri *box girder* adalah mendefinisikan dimensi rencana penampang. Besar luasan penampang dihitung secara komputer untuk memudahkan lewat fitur *bridge wizard* pada SAP 2000 (Gambar 4.11 dan 4.12). Beban didefinisikan sebagai beban terbagi merata per meter panjang gelagar.

$$\text{Berat Box Girder} = 8,8128 \times 25,5 = 224,7264 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.11 Dimensi Box Girder Bertiang

Properties	
Base Material	K-500
Axis Angle	0
A	8.8128
J	14.599
I33	6.4693
I22	37.7641
I23	0.
AS2	4.3211
AS3	6.7175
S33(+face)	6.399
S33(-face)	4.3447
S22(+face)	8.392
S22(-face)	8.392
Z33	6.6372
Z22	15.9731
r33	0.8568
r22	2.0701
Xcg	4.5
Ycg	1.489
Xpna	4.5
Ypna	1.8671
OK	

Gambar 4.12 data penampang box girder berdasarkan SAP 2000

b. Diafragma

Direncanakan tebal diafragma adalah 0,45 m dimana dalam satu bentang 50 m terdapat 5 diafragma. Adapun perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perhitungan Beban Diafragma

Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
Tebal diafragma	t (m)	0,45	m
Lebar atas	l_a (m)	3,375	m
Lebar bawah	l_b (m)	2,2	m
Tinggi	h (m)	1,5	m
Berat volume	W_c (kN/m ³)	25,5	kN/m ³
Berat diafragma = $2(0,5(l_a + l_b).h.t. W_c)$	W (kN)	95,95969	kN
Panjang jembatan	L (m)	50	m
Jumlah diafragma	n	5	buah
Jarak antar diafragma = $L.(n-1)$	x (m)	12,5	m

Jarak antar diafragma dari tengah bentang					
x_5 (m)	x_4 (m)	x_3 (m)	x_2 (m)	x_1 (m)	x_0 (m)
62,5	50	37,5	25	12,5	0
Momen max akibat diafragma			M_{max}	2998,74	kNm
Berat diafragma ekuivalen			$Q_{diafragma}$	9,595969	kN/m

c. Barrier

Beban barrier diperhitungan berdasarkan luasan penampang dikalikan dengan berat volume beton bertulang. Adapun perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Gambar 4.13 Dimensi *barrier*

Tabel 4.8 Perhitungan Beban *Barrier*

No	b (m)	h (m)	L (m)	Shape Factor	W'c (kN/m ³)	Berat (kN/m)
1	0,5	0,2	1	1	25	2,5
2	0,2	0,25	1	0,5	25	0,625
3	0,3	0,25	1	1	25	1,875
4	0,2	0,65	1	1	25	3,25
5	0,1	0,65	1	0,5	25	0,8125
6	SGP 3" dengan berat/m			0,63	2	1,26

Jumlah berat barrier = 10,3225

Tabel 4.9 Rekapitulasi Beban Sendiri Struktur Atas

No	Jenis Berat sendiri konstruksi	Berat (kN/m)
1	Box girder prestress	224,726
2	Diafragma	9,596
3	Barrier	20,645
Total berat sendiri Q_{MS}		275,612

2. Beban Mati Tambahan (M_A)

Beban mati tambahan merupakan beban non struktur. Beban terdiri atas lapisan perkerasan (dengan kemungkinan *overlay* di kemudian hari), air hujan, dan tiang listrik. Adapun perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perhitungan Beban Mati Tambahan

No	Jenis beban mati tambahan	b (m)	h (m)	A (m ²)	w (kN/m ³)	Q_{MA} (kN/m)
1	Lapisan aspal + overlay	8	0,1	0,8	22	17,6
2	Air hujan	8	0,05	0,4	9,8	3,92
3	Tiang listrik (LPJ)					0,1
Total berat sendiri					Q_{MA}	21,62

3. Beban Lajur "D" (T_D)

Beban ini merupakan beban hidup berupa beban lalu lintas. Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.

Diketahui :

$$L = 50 \text{ m}$$

$$B = 8 \text{ m}$$

a. Beban Terbagi Merata (UDL)

$$\text{Intensitas, } q = 8 \times \left[0,5 + \left(\frac{15}{L} \right) \right] = 8 \times \left[0,5 + \left(\frac{15}{50} \right) \right] = 6,4 \text{ kPa}$$

$$= (6,4 \times 5,5) + ((8 - 5,5) \times 6,4 \times 50\%)$$

$$Q_{TD} = 43,2 \text{ kN/m}$$

Beban terbagi merata didistribusikan pada joint-joint ujung slab box girder menjadi beban merata sepanjang bentang jembatan. Besarnya gaya yang bekerja pada joint slab adalah :

$$Q_{TD} / 2 = 43,2 / 2 = 21,6 \text{ kN/m}$$

b. Beban Garis (KEL)

$$p = 44 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{faktor beban dinamis, DLA} &= 0,4 - 0,0025 \times (L - 50) \\ &= 0,4 - 0,0025 \times (50 - 50) \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ekuivalen beban garis, } p' &= (5,5 \times p) + ((B - 5,5) \times p \times 50\%) \\ &= (5,5 \times 44) + ((8 - 5,5) \times 44 \times 50\%) \\ &= 297 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban terpusat pada box girder, } P_{TD} &= (1 + \text{DLA}) \times p' \\ &= (1 + 0,4) \times 297 \\ P_{TD} &= 415,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Gaya Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan jalan. Pada awalnya beban rem bekerja di ketinggian 1,8 m pada kendaraan sehingga menghasilkan momen pada titik berat penampang box girder, sehingga untuk mendapatkan gaya horizontal pada bidang perkerasan perlu mengkonversi kembali momen dengan cara dibagi jarak gaya ke titik berat penampang

Lengan terhadap titik berat box girder:

$$y = 1,8 + H + t_a + h_{\text{pilar}}$$

dengan,

y = lengan terhadap titik berat box girder

t_a = tebal perkerasan

h_{pilar} = tinggi pilar

H = tinggi box girder

$$\begin{aligned} y &= 1,8 + 2,5 + 0,1 + 6,375 \\ &= 10,775 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat beban rem } M &= T_{\text{TB}} \times y \\ &= 250 \times 10,775 \\ &= 2693,75 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beban momen didistribusikan pada joint-joint pangkal pilar / fondasi.

5. Beban Angin (EW)

a. Beban angin yang menimpa kendaraan

Diketahui :

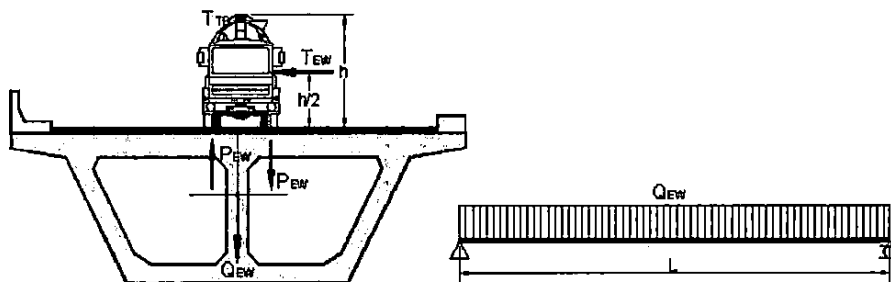
Koefisien seret, $C_w = 1,2$ (lihat Tabel)

Koefisien angin rencana, $V_w = 30 \text{ m/dt}$ (lihat Tabel)

Beban akibat angin :

$$\begin{aligned} T_{\text{EW}}^1 &= 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \\ &= 0,0012 \times 1,2 \times (30^2) \\ &= 1,296 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Transfer beban angin menjadi beban merata vertikal (Gambar 4.14) :



Gambar 4.14 Skema beban angin

Tinggi bidang vertikal, $h = 2 \text{ m}$
 Jarak antara roda kendaraan, $x = 1,75 \text{ m}$
 Transfer beban angin, $Q_{EW} = 0,5 \times (h/x) \times T_{EW} \times 2$
 $= 0,5 \times (2/1,75) \times 1,296 \times 2$
 $= 1,481 \text{ kN/m}$

b. Beban angin pada struktur atas (*girder*)

Lebar total jembatan, $b = 9 \text{ m}$

Tinggi struktur jembatan $d = (\text{tinggi box girder} + \text{barrier}) = (2,5 + 1,1) = 3,6 \text{ m}$

$b/d = 9 / 3,6 = 2,5$

Dari Tabel dengan cara interpolasi didapatkan koefisien seret (C_w) = 1,469

Dari Tabel didapatkan kecepatan angin rencana (V_w) = 30 m/det

$T_{EW 2} = 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times d$
 $= 0,0006 \times 1,469 \times (30^2) \times 3,6$
 $= 2,855 \text{ kN/m}$

c. Beban angin pada struktur pilar (*pier*)

Tinggi pilar, $b = 6,375 \text{ m}$

Lebar pilar, $d = 2 \text{ m}$

$b/d = 6,375 / 2 = 3,1875$

Dari Tabel dengan cara interpolasi didapatkan koefisien seret (C_w) = 1,426

Dari Tabel didapatkan kecepatan angin rencana (V_w) = 30 m/det

$T_{EW 2} = 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times d$
 $= 0,0006 \times 1,426 \times (30^2) \times 2$
 $= 1,35 \text{ kN/m}$

6. Beban Gempa (EQ)

a. Perhitungan berat total jembatan (W_{TP})

Perhitungan berat total jembatan adalah meliputi berat total dari seluruh struktur atas jembatan, yang meliputi berat box girder, barrier, diafragma, lapisan perkerasan, genangan air dan utilitas jembatan.

Beban akibat berat sendiri, $Q_{MS} = 275,612 \text{ kN/m}$

Beban akibat beban mati tambahan, $Q_{MA} = 21,62 \text{ kN/m}$

Panjang bentang *box girder*, $L = 50 \text{ m}$

Berat total struktur atas,

$$\begin{aligned} W_{TP} &= (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L \\ &= (275,612 + 21,62) \times 50 \\ &= 14861,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan waktu getar (T)

Perhitungan waktu getar diperlukan untuk mencari nilai koefisien geser dasar.

$$\text{Percepatan gravitasi bumi, } g = 9,81 \text{ m/det}^2$$

$$\text{Berat volume beton prategang, } W_c = 25,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Momen inersia } box \text{ girder prategang, } I_x = 37,7641 \text{ m}^4$$

Modulus elastisitas (E),

Mutu beton = K-500

$$\begin{aligned} f_c' &= 0,83 \times K / 10 \\ &= 0,83 \times 500 / 10 \\ &= 41,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0,043 \times (W_c^{1,5}) \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,043 \times (25,5^{1,5}) \times \sqrt{41,5} \\ &= 35670 \text{ MPa} \\ &= 35670000 \text{ kPa} \end{aligned}$$

c. Kekakuan balok prategang,

$$\begin{aligned} K_p &= 48 \times E_c \times \frac{I_x}{L^3} \\ &= 48 \times 35670000 \times \frac{37,7641}{50^3} \\ &= 517265,053 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

d. Waktu getar,

$$\begin{aligned} T &= 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{W_T}{g \times K_p}} \\ &= 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{14861,6}{9,81 \times 517265,053}} \\ &= 0,328 \text{ detik} \end{aligned}$$

e. Koefisien beban gempa (k)

Untuk lokasi wilayah gempa 3 (Yogyakarta) di atas tanah sedang, dari grafik diperoleh nilai koefisien geser dasar, C sebesar 0,18 (lihat Gambar 3.9)

Faktor kepentingan bangunan, I = 1,2 (lihat Tabel 3.9)

Jumlah sendi plastis, n = 1

$$\begin{aligned} \text{Faktor perangkaan, F} &= 1,25 - (0,025 \times n) \\ &= 1,25 - (0,025 \times 1) \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor tipe struktur, S} &= 1,0 F \\ &= 1 \times 1,225 \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

Koefisien beban gempa horisontal (k_h),

$$K_h = C \times S = 0,18 \times 1,225 = 0,2205$$

Koefisien beban gempa vertikal (k_v),

$$k_v = 0,1 \text{ (ketetapan untuk perencanaan beban vertikal)}$$

Maka diambil nilai k_v sebesar 0,11025

f. Beban gempa vertikal

$$\begin{aligned} \text{Gaya gempa vertikal, } T_{EQ} &= k_v \times W_t \times I \\ &= 0,11025 \times 14861,6 \times 1,2 \\ &= 1829,625 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban gempa vertikal, } Q_{EQ} &= T_{EQ}/L \\ &= 1829,625 / 50 \\ &= 36,592 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

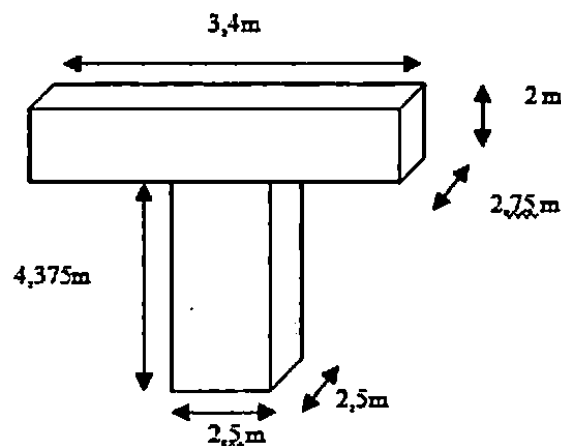
Beban terbagi merata didistribusikan pada joint-joint ujung slab box girder menjadi beban merata sepanjang bentang jembatan. Besarnya gaya yang bekerja pada joint slab adalah :

$$Q_{EQ}' / 2 = 36,592 / 2 = 18,296 \text{ kN/m}$$

g. Beban gempa horisontal

Gaya pada Pier head,

Pada perhitungan ini dimensi pilar tidak sesuai dengan perencanaan eksisting, bentuk dimodifikasi menjadi lebih sederhana berbentuk persegi namun luas penampang tidak berubah secara signifikan.



Gambar 4.15 Dimensi pilar

$$\text{Volume beton, } V = p \times l \times t = 3,4 \times 2,75 \times 2 = 18,7 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pier head} = V \times W_c = 18,7 \times 25 = 467,5 \text{ kN}$$

Jarak titik berat terhadap fondasi tiang,

$$\begin{aligned} h &= h_{\text{pile cap}} + h_{\text{pier}} + (1/2 h_{\text{pier head}}) \\ &= 2,5 + 4,375 + (1/2 \times 2) \\ &= 7,875 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban gempa, } T_{EQ1} &= k_h \times \text{berat pier head} \\ &= 0,2205 \times 467,5 \\ &= 103,084 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa pada fondasi tiang,

$$\begin{aligned} M_1 &= T_{EQ1} \times h \\ &= 103,084 \times 7,875 \\ &= 811,78 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya pada pilar (*pier*),

$$\text{Volume beton, } V = p \times l \times t = 2,5 \times 2,5 \times 4,375 = 27,34 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pilar} = V \times W_c = 27,34 \times 25 = 683,59 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak titik berat terhadap fondasi tiang, } h &= h_{\text{pile cap}} + (1/2 h_{\text{pier}}) \\ &= 2,5 + (1/2 \times 4,375) \\ &= 4,6875 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban gempa, } T_{EQ2} &= k_h \times \text{berat pilar} \\ &= 0,2205 \times 683,59 \\ &= 150,732 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa pada fondasi tiang,

$$\begin{aligned} M_2 &= T_{EQ2} \times h \\ &= 150,732 \times 4,6875 \\ &= 706,558 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya *box girder*,

$$\text{Berat } \textit{box girder} = 14861,6 \text{ kN}$$

$$\text{Jarak titik berat terhadap fondasi tiang, } h = 10,714 \text{ m}$$

$$\text{Beban gempa, } T = k_h \times \text{berat } \textit{box girder}$$

Momen akibat beban gempa pada fondasi tiang,

$$\begin{aligned} M_3 &= T_{EQ3} \times h \\ &= 3276,98 \times 10,714 \\ &= 35109,6 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya *pile cap*,

$$\text{Volume betonm, } V = A \times l = 13,6875 \times 9 = 123,1875 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat } \textit{pile cap} = V \times W_c = 123,1875 \times 25 = 3079,69 \text{ kN}$$

$$\text{Jarak titik berat terhadap fondasi tiang, } h = 1,154 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban gempa, } T_{EQ4} &= kh \times \text{berat } \textit{pile cap} \\ &= 0,2205 \times 3079,69 \\ &= 679,071 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa pada fondasi tiang,

$$\begin{aligned} M_4 &= T_{EQ4} \times h \\ &= 679,071 \times 1,154 \\ &= 783,722 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Momen gaya akibat beban gempa

No	Jenis beban mati	Gaya Gempa (kN)	Momen dihasilkan (kNm)	Lengan momen resultan (m)
1	Pier Head	103,084	811,780	
2	Pier	150,732	706,558	
3	Box girder	3276,980	35109,600	8,88
4	Pile cap	679,071	783,722	
	Σ	4209,867	37411,660	

Jadi jarak antara fondasi tiang dengan titik resultan gaya gempa adalah 8,8 m.

Direncanakan beban gempa didistribusikan menjadi gaya momen yang dihasilkan pada pangkal pilar atau atas *pile cap*. Maka jarak terhadap

resultan gaya gempa menjadi berubah yang tadinya terhadap fondasi menjadi terhadap pangkal pilar.


Lengan terhadap dasar pilar :

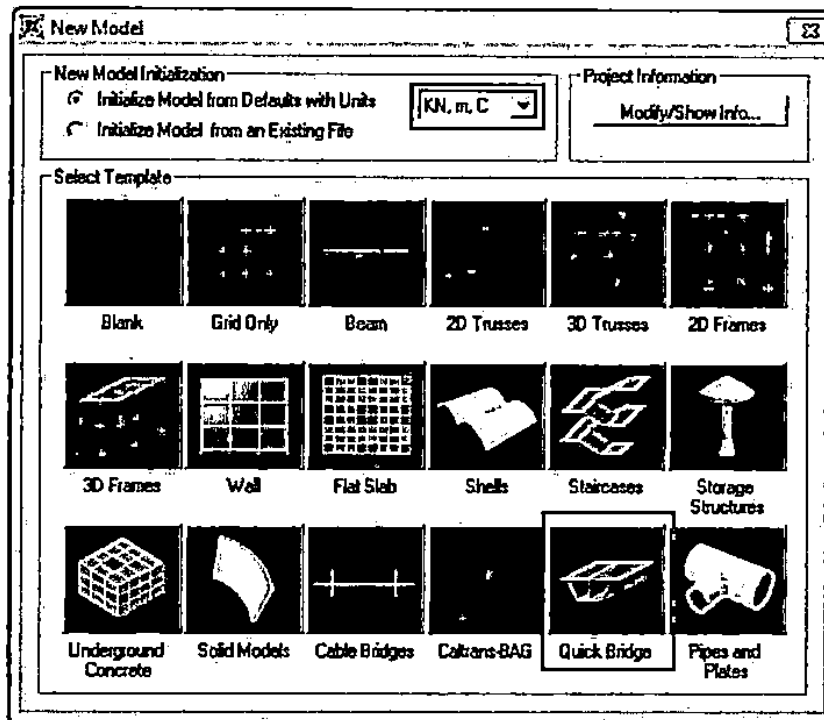
$$\begin{aligned} Y_{EQ} &= Y_{EQ} - h_{pile\ cap} \\ &= 8,88 - 2,5 \\ &= 8,3\ m \end{aligned}$$

Momen pada kolom pilar akibat beban gempa :

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y'_{EQ} \\ &= 4209,867 \times 6,38 \\ &= 26858,951\ kNm \end{aligned}$$

E. Analisis Struktur dengan SAP 2000

Setelah perhitungan pembebanan, dilanjutkan dengan analisis struktur. Analisis struktur jembatan menggunakan bantuan program SAP 2000 versi 14. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan model rencana struktur dengan membuka file baru , pada terdapat beberapa *template* model. Pada penelitian ini model yang dipilih adalah *Quick Bridge* dimana merupakan fitur khusus untuk memudahkan pemodelan jembatan *box girder* (lihat gambar 4.16). Satuan (*units*) untuk besaran gaya, panjang dan suhu yang dipilih adalah



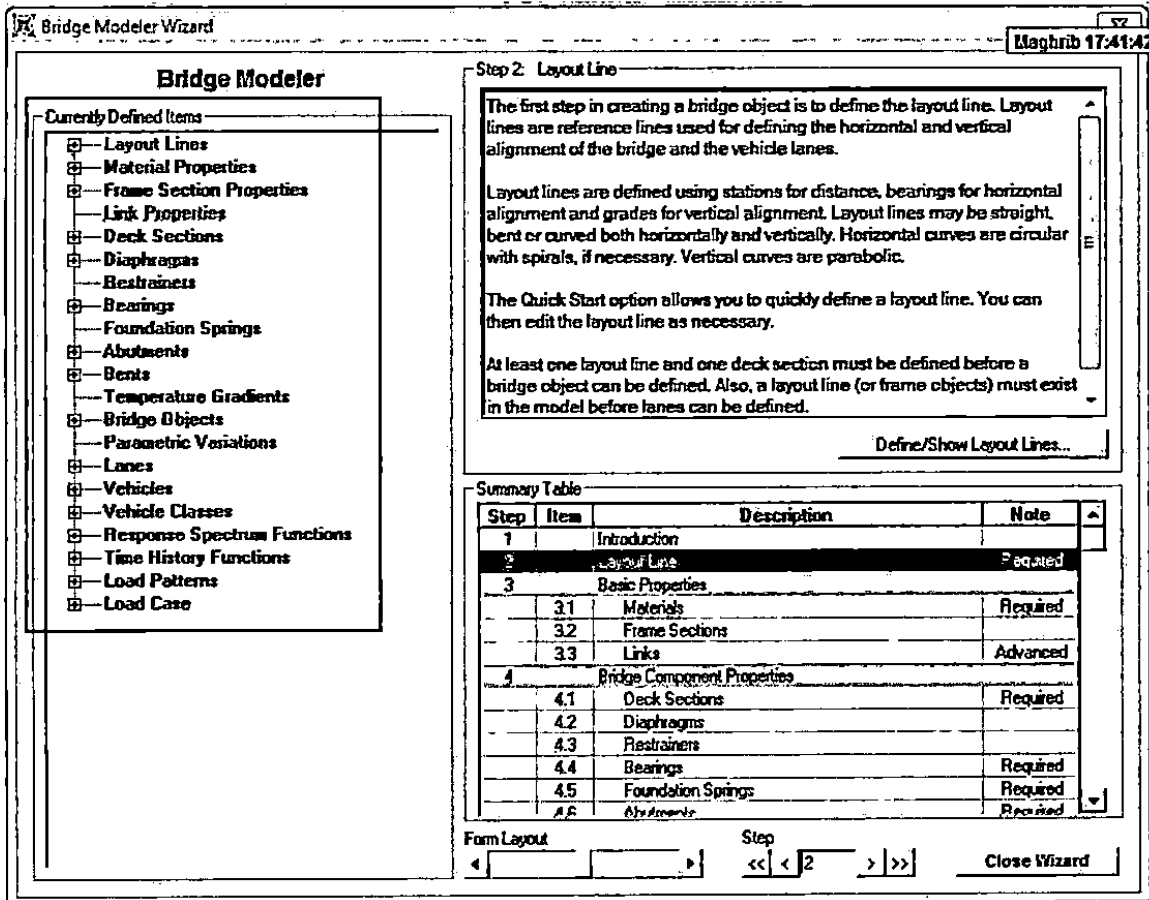
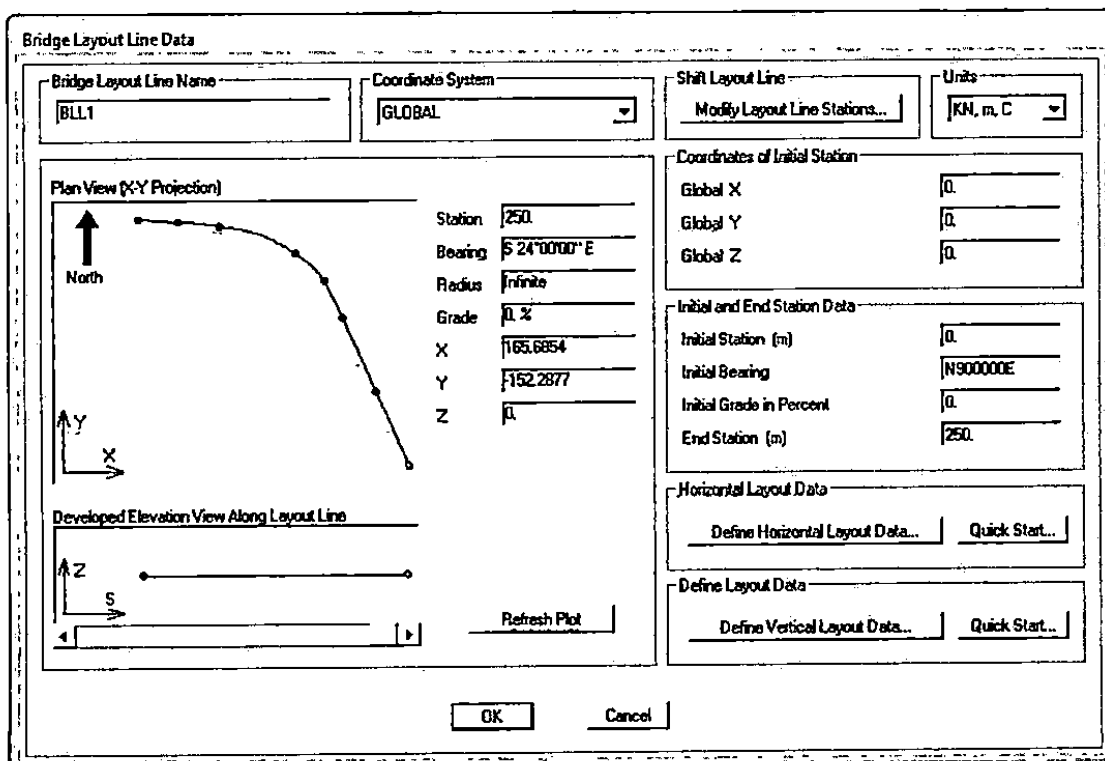
Gambar 4.16 Membuka model baru

1. Pemodelan Struktur Jembatan Layang Jombor

Untuk dapat dilakukan analisis pada program SAP 2000 maka diperlukan adanya pemodelan struktur, pada *Bridge Wizard* langkah-langkah perencanaan sudah cukup jelas dan sistematis hal-hal apa yang dibutuhkan dan hal-hal yang bersifat tambahan (tidak wajib) (lihat gambar 4.17).

a. Lay out line

Hal yang pertama dilakukan adalah menentukan trase jalan/jembatan (*layout lines*) seperti pada Gambar 4.18 dan sebagai inputnya adalah berupa rencana alinyemen horizontal (Gambar 4.10) dan rencana alinyemen vertikal

Gambar 4.17 Tampilan menu *Bridge Modeller*

Bridge Layout Line - Horizontal Layout Data

Bridge Layout Line Name: Coordinate System: Quick Start Templates:

Layout Line Segment Data

Layout Line Segment Type	Station m	Radius m	Bearing PI to EC
Initial Station and Bearing	0		N900000E
1 Initial Station and Bearing	0		N900000E
2 Straight at New Bearing To Station	25		S660000E
3 Curve Right to New Bearing at Station	50	200	S620000E
4 Curve Right to New Bearing at Station	100	70	S580000E
5 Curve Right to New Bearing at Station	125	50	S340000E
6 Straight at New Bearing To Station	150		S260000E
7 Straight at New Bearing To Station	200		S240000E
8 Straight at Previous Bearing to End	250		S240000E

For quick editing of an existing segment right click either a table row or a segment in the sketch below.

Layout Line Plan View (X-Y Projection) (Double Click Picture for Enlarged View)

Station: Bearing: Radius: Grade: X: Y: Z:

Units: OK Cancel Refresh Plot

Gambar 4.19 Input data alinyemen horizontal

Bridge Layout Line - Vertical Layout Data

Bridge Layout Line Name: Coordinate System: Quick Start Templates:

Layout Line Segment Data

Layout Line Segment Type	Station m	Elevation Z m	Grade Percent
Initial Station, Elevation Z, and Grade	0	0	0
2 Constant at Previous Grade to End	250	0	0

For quick editing of an existing segment right click either a table row or a segment in the sketch below.

Developed Elevation View Along Layout Line (Double Click Picture for Enlarged View)

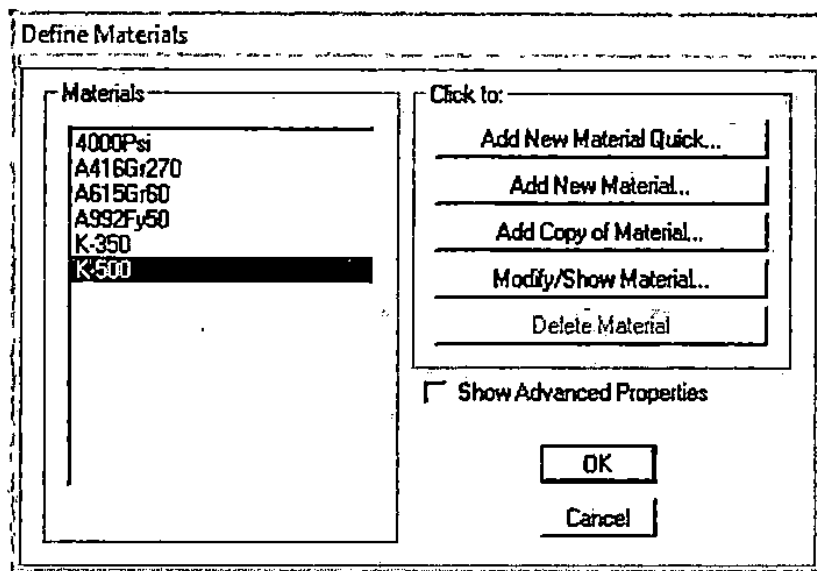
Station: Bearing: Radius: Grade: X: Y: Z:

Units: OK Cancel Refresh Plot

Gambar 4.20 Input data alinyemen vertikal

b. Penentuan sifat bahan

Langkah selanjutnya dilakukan pendefinisian material yang digunakan struktur jembatan khususnya gelagar dan pilar (lihat Gambar 4.21), berisi pengaturan mutu bahan seperti kuat tekan dan modulus elastisitas. Sifat material dapat ditambahkan dan dimodifikasi sesuai kebutuhan seperti pada Gambar 4.22



Gambar 4.21 Ditambahkan dan modifikasi jenis material

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: K-500

Material Type: Concrete

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 24.4898

Mass per Unit Volume: 2.4973

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 35700000

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 13730769

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 41500

Lightweight Concrete

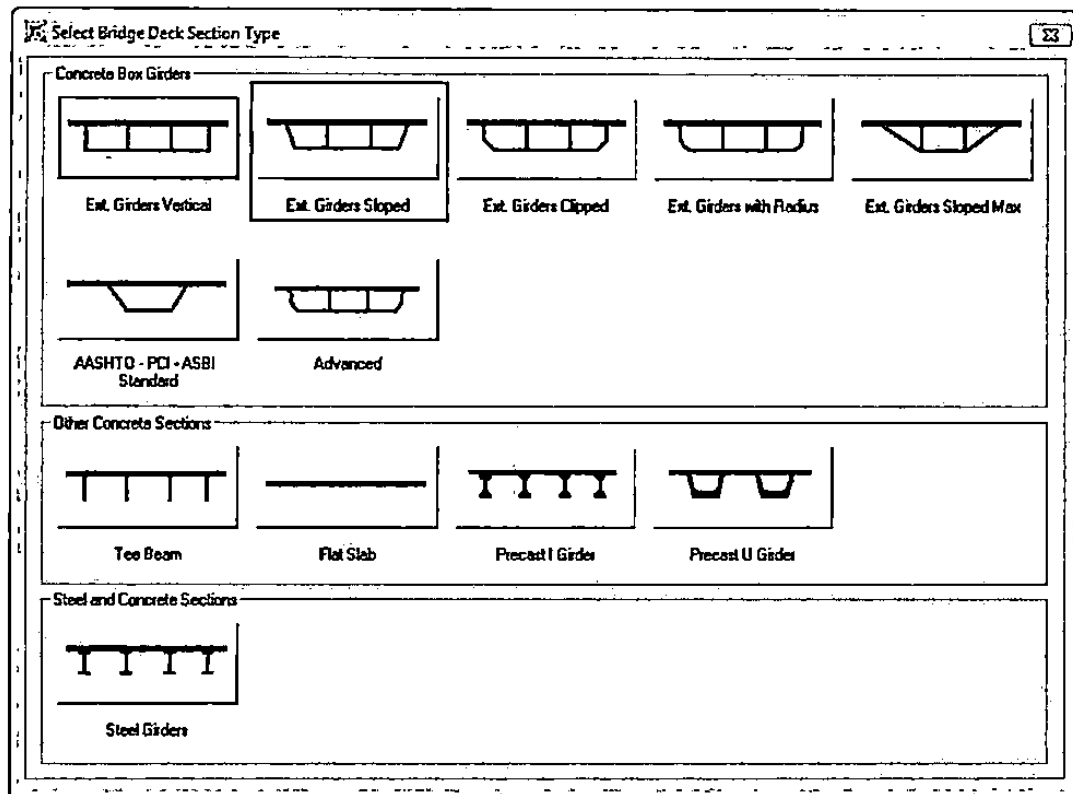
Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

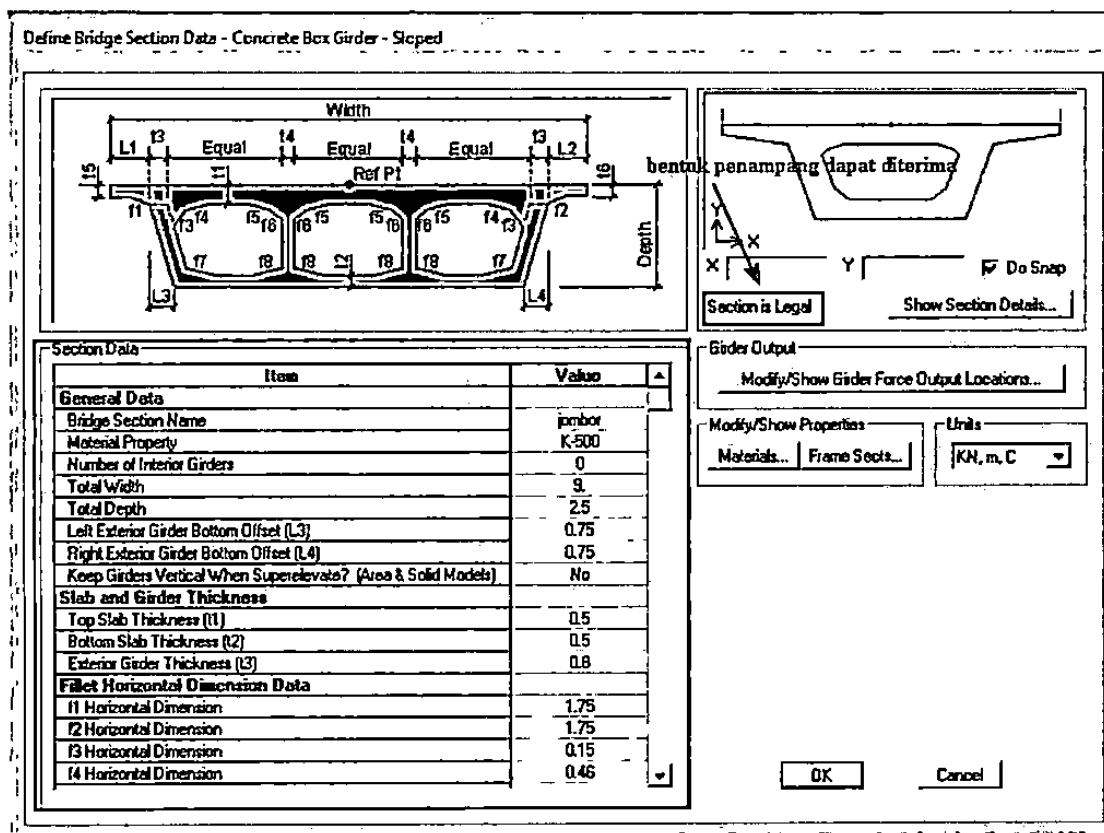
Gambar 4.22 Contoh pendefinisian material pada beton K-500

c. Menentukan bentuk dan dimensi struktur

Tahap selanjutnya adalah memodelkan bentuk penampang(*section*) dari *box girder* dengan memilih tipe bentuk lantai seperti pada Gambar 4.23. Data yang dimasukkan berupa dimensi sesuai gambar rencana (Gambar 4.24) sehingga didapatkan hasil gambar penampang lengkap dengan koordinatnya (Gambar 4.25)



Gambar 4.23 Macam-macam tipe lantai jembatan beton



Gambar 4.24 Jurut dimensi penampang jembatan

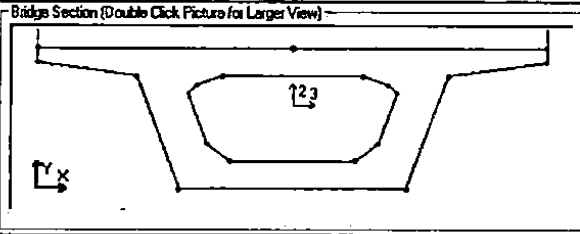
Bridge Section Points for jember

File

Bridge Section Name:

Units:

Bridge Section (Double Click Picture for Larger View)



Section Points

Shape	Point	Material	X	Y
Reference Point			4.5	2.5
Structural Polygon 1	1	K-500	0	2.5
	2		9	2.5
	3		9	2.25
	4		7.25	2
	5		6.5	0
	6		2.5	0
	7		1.75	2
	8		0	2.25
Opening Polygon 1	1		2.6625	1.7
	2		2.8125	1.85
	3		3.2725	2
	4		5.7275	2
	5		6.1875	1.85
	6		6.3375	1.7

Options

Show Dots At Points

Display Point Labels

Disable Corner Point Snap

Show Section Properties

OK

Cancel

Gambar 4.25 Hasil bentuk penampang box girder

d. Perletakan

Perletakan harus didefinisikan terhadap pergerakan translasi dan rotasi apakah bersifat tetap atau bebas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.26

Bridge Bearing Data

Bridge Bearing Name:

Units:

Bridge Bearing Is Defined By:

Link/Support Property

User Definition

User Bearing Properties

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Vertical (U1)	Fixed	
Translation Normal to Layout Line (U2)	Fixed	
Translation Along Layout Line (U3)	Fixed	
Rotation About Vertical (R1)	Free	
Rotation About Normal to Layout Line (R2)	Free	
Rotation About Layout Line (R3)	Free	

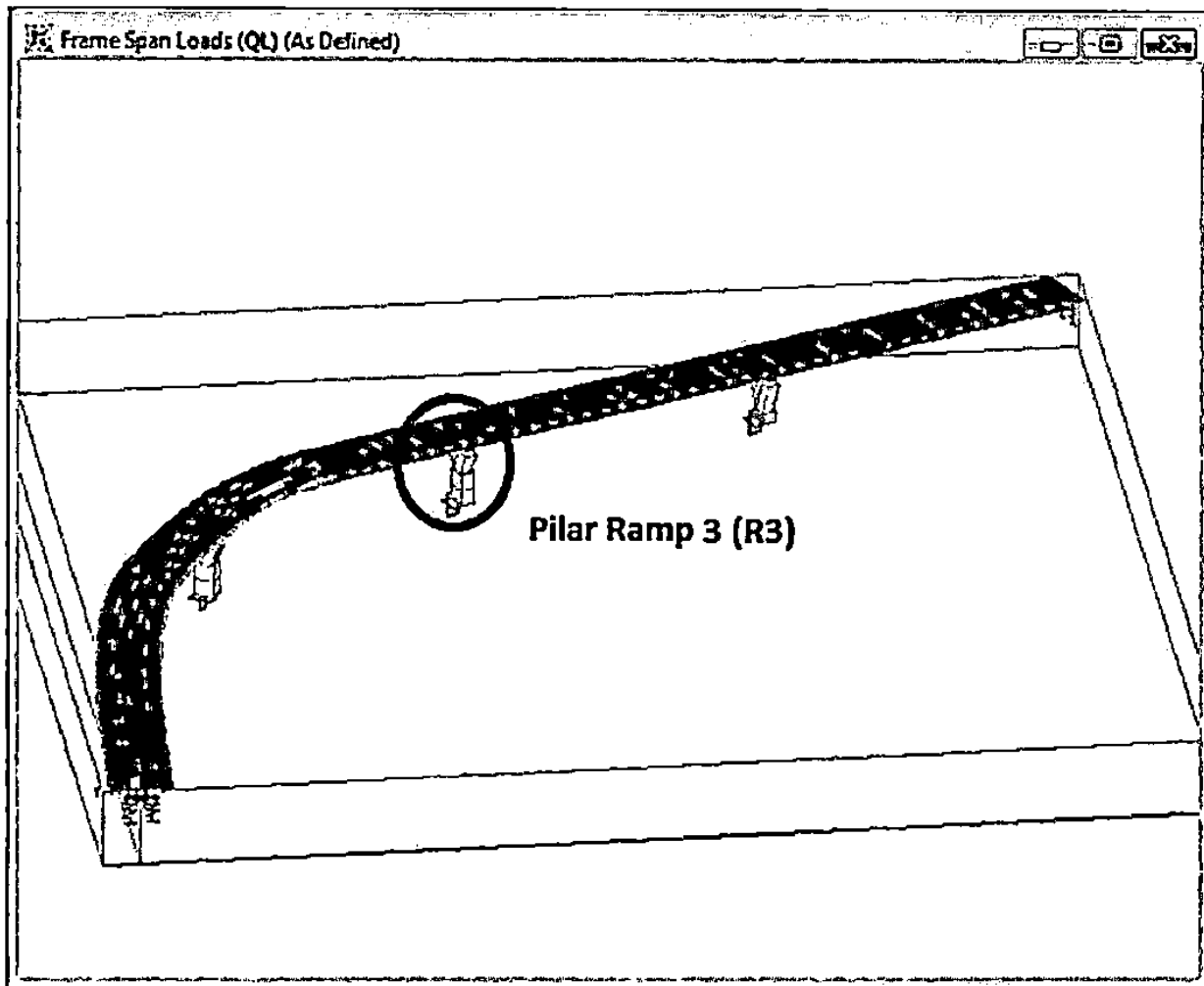
OK

Cancel

Gambar 4.26 Menentukan sistem bearing atau perletakan

e. Hasil pemodelan jembatan

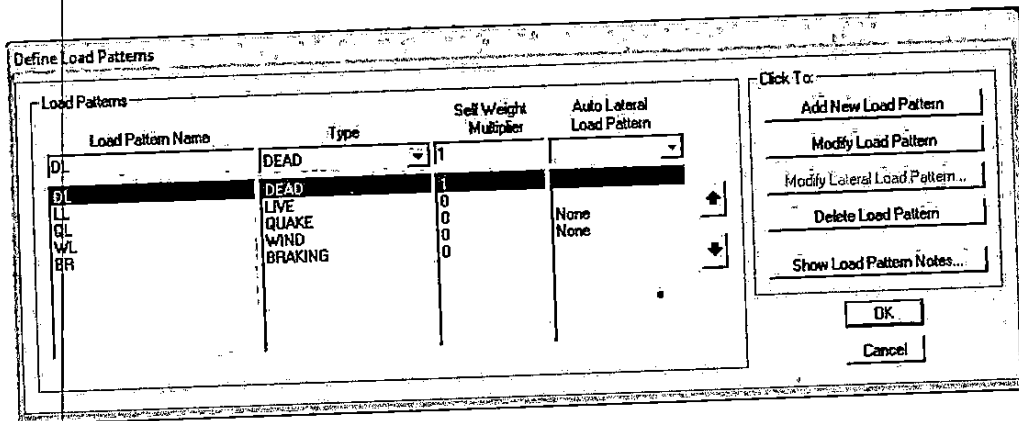
Gambar 4.27 dibawah ini merupakan model jembatan yang sudah dibuat elemennya secara otomatis, dan siap untuk diberikan beban serta analisis struktur.



Gambar 4.27 Model jembatan *box girder* 3D

2. Bentuk beban dan kombinasi beban

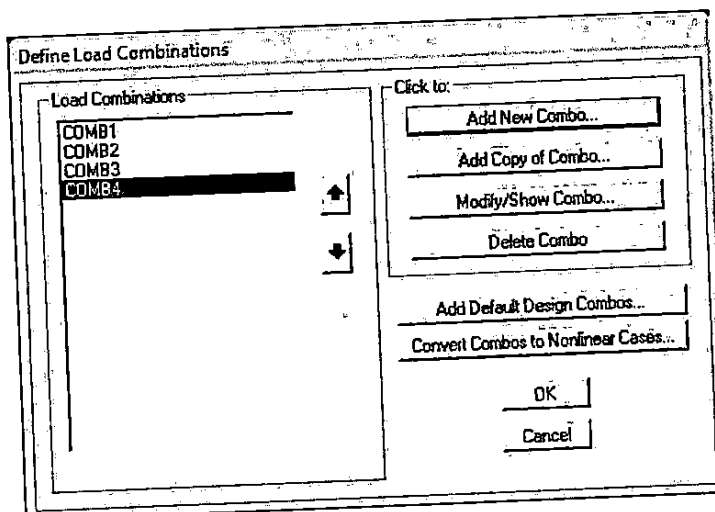
Setelah model selesai dibuat selanjutnya adalah mendefinisikan tipe beban dan kombinasi beban agar beban dari hasil analisis pembebanan dapat ditempatkan sesuai dengan peruntukannya ketika dianalisis. Gambar 4.28 menunjukkan beberapa tipe beban yang bekerja pada jembatan



Gambar 4.28 Gambar tipe beban pada jembatan

Selanjutnya kombinasi beban ditentukan berdasarkan peraturan pada buku "Pedoman Perencanaan Teknik Jembatan" sesuai tabel 3. Beban kombinasi diperlukan agar model struktur tersebut dapat menerima beberapa beban secara bersama-sama sehingga diharapkan dapat mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Untuk perhitungan pembebanan kombinasi diperlukan adanya factor beban ultimit. Faktor beban ultimit yang digunakan adalah dalam keadaan maksimum. Beban kombinasi yang dimasukkan pada SAP 2000 (Gambar 4.29 dan 4.30) adalah sebagai berikut :

- 1,3 Beban mati + 2,0 Beban hidup + 1,5 Beban rem
- 1,3 Beban mati + 2,0 Beban hidup + 1,5 Beban rem
- 1,3 Beban mati + 2,0 Beban hidup + 1,5 Beban rem + 1,2 Beban Angin
- 1,3 Beban mati + 2,0 Beban hidup + 1,0 Beban gempa



Gambar 4.29 Input kombinasi beban

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options:

Define Combination of Load Case Results

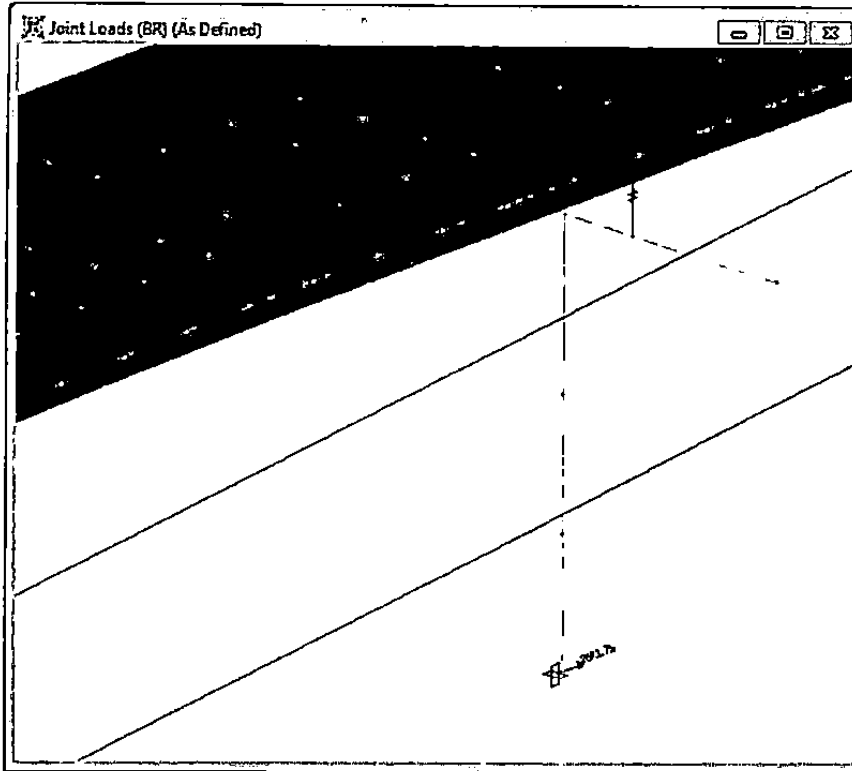
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.3
DEAD	Linear Static	1.3
LL	Linear Static	2

Gambar 4.30 Contoh penentuan faktor pengali pada kombinasi beban

3. Besaran Beban Yang Bekerja.

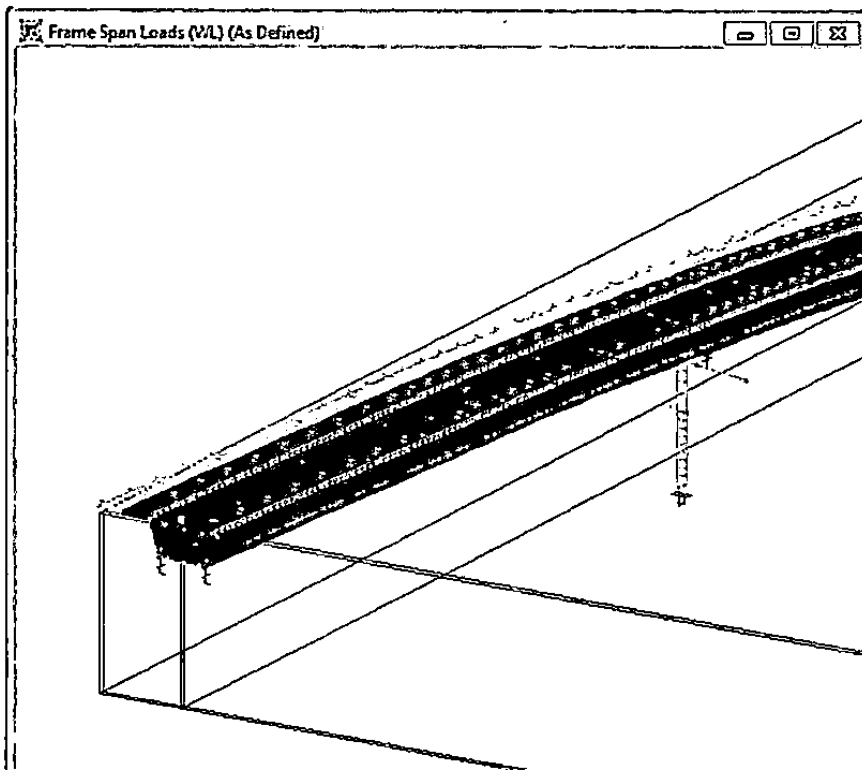
Unit satuan yang digunakan dalam program SAP 2000 untuk proses analisis struktur jembatan adalah kN, m, C. Beban yang bekerja yang

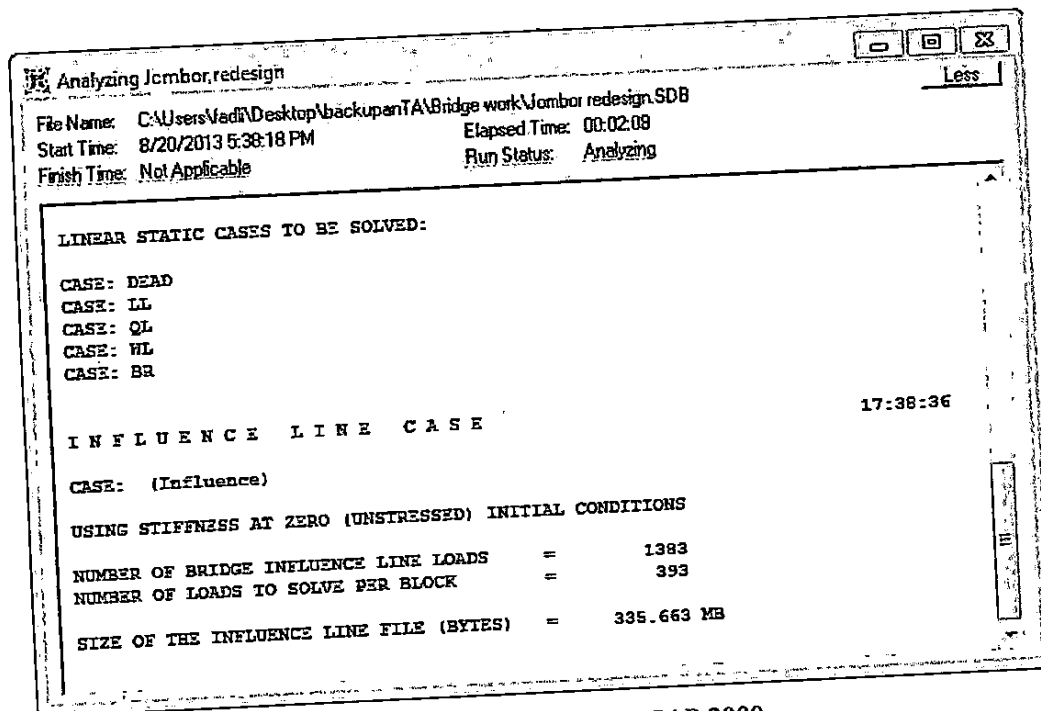
c. Beban Rem



Gambar 4.33 *Input* beban rem

d. Beban Angin



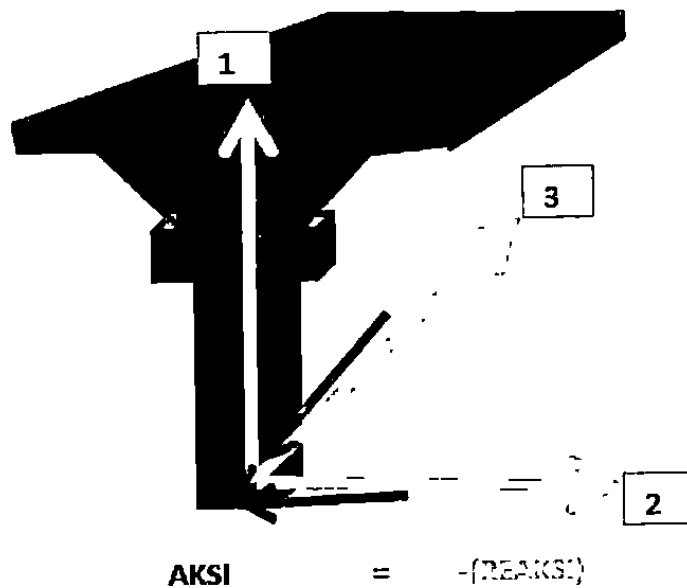


Gambar 4.36 Proses running SAP 2000

Tabel 4.12 Reaksi gaya pada joint-joint fondasi pilar dan abutment

Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	COMB1	5638	-974	2570	0	-1660	-629
	COMB2	5636	-968	2638	0	-1704	-625
	COMB3	5588	-1006	2683	0	-1732	-649
	COMB4	6053	-1047	2767	0	-1787	-676
2	COMB1	4051	1110	1276	0	-734	639
	COMB2	4054	1105	1352	0	-778	636
	COMB3	4145	1054	1613	0	-928	607
	COMB4	4364	1192	1386	0	-798	686
5	COMB1	5035	-1068	-2475	0	1590	-686
	COMB2	5035	-1068	-2470	0	1587	-686
	COMB3	4945	-1113	-2427	0	1559	-715
	COMB4	5405	-1145	-2661	0	1710	-736
6	COMB1	4830	1050	-2572	0	1488	608
	COMB2	4831	1051	-2567	0	1485	608
	COMB3	4961	1000	-2854	0	1651	579
	COMB4	5192	1126	-2768	0	1601	652
6782	COMB1	31915	512	-2127	-1001	19874	9368
	COMB2	31910	495	-2106	-993	19526	6334
	COMB3	32003	389	-2090	-1014	19373	5327

	COMB4	33964	557	-2288	-1078	46400	10043
6788	COMB1	26754	934	-80	64	753	13413
	COMB2	26758	924	-76	63	112	10264
	COMB3	26841	922	-78	61	131	10012
	COMB4	28561	1014	-85	69	25818	14431
6794	COMB1	20441	499	1683	475	19442	8324
	COMB2	20440	496	1684	473	19433	5406
	COMB3	20527	382	1617	533	19954	4415
	COMB4	22224	540	1801	513	43543	8937
6800	COMB1	29186	-14	1666	32	-12856	1921
	COMB2	29186	-13	1667	32	-12862	-976
	COMB3	29279	-179	1653	26	-12752	-2275
	COMB4	31238	-15	1785	34	11246	2044



Gambar 4.37 Skema aksi-reaksi gaya hasil program SAP 2000
pada fondasi R3

Pada program Plaxis 3D Foundation input gaya dalam pemodelan hanya berupa gaya aksial dan lateral. Oleh karena itu momen gaya dari hasil SAP 2000 ini harus dikonversi menjadi gaya lateral. Hasil perhitungan SAP 2000

dipilih hasil pada joint 6794 dimana dari 4 kombinasi yang ada dicari gaya yang paling besar.

Dalam konversi momen gaya akan mengakibatkan bertambahnya besar beban lateral, dalam pemilihan kombinasi ekstrim dilakukan dengan cara menghitung gaya vector terbesar (Tabel 4.13 dan 4.14). Sedangkan pada beban aksial konversi momen gaya tidak memberikan pengaruh besar gaya

Tabel 4.13 Gaya lateral yang bekerja pada *pile cap* kelompok tiang

Gaya Aksi pada fondasi		Momen (A)	e (tebal pile cap) (B)	Gaya konversi (C)=(A/B)	Gaya geser pada pile cap (D)	Total (E)=(C+D)
beban horizontal arah memanjang (F3)	comb1	8324	2,5	3330	1683	5013
	comb2	5406	2,5	2162	1684	3847
	comb3	4415	2,5	1766	1617	3383
	comb4	8937	2,5	3575	1801	5376
beban horizontal arah melintang (F2)	comb1	19442	2,5	7777	499	8276
	comb2	19433	2,5	7773	496	8270
	comb3	19954	2,5	7982	382	8363
	comb4	43543	2,5	17417	540	17958

Tabel 4.14 Perhitungan Vektor Gaya Geser

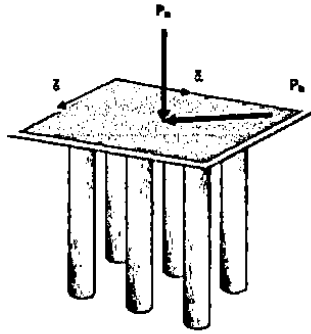
Kombinasi	Vektor gaya geser (kN)
comb1	$F_{TOTAL} = (8276^2 + 5013^2)^{0,5}$ 9676
comb2	$F_{TOTAL} = (8270^2 + 3847^2)^{0,5}$ 9120
comb3	$F_{TOTAL} = (8363^2 + 3383^2)^{0,5}$ 9022
comb4	$F_{TOTAL} = (17958^2 + 5376^2)^{0,5}$ 18745

Dari perhitungan diatas kombinasi pembebanan 4 dipilih untuk rencana input gaya pada program Plaxis karena mempunyai nilai gaya geser paling besar. Adapun data beban fondasi rencana adalah sebagai berikut.

a. Gaya sumbu 1 (aksial) = 22224 kN , dibulatkan menjadi 22000 kN

b. Gaya sumbu 2 (geser) = 17958 kN , dibulatkan menjadi 18000 kN

c. Gaya sumbu 3 (geser) = 5376 kN , dibulatkan menjadi 5400 kN



Gambar 4.38 Arah pembebanan pada fondasi R3

F. Analisis Program PLAXIS 3D Foundation

1. Perencanaan Model Fondasi

Setelah dipersiapkan data material tanah dan struktur, langkah selanjutnya adalah merencanakan model fondasi (lihat Tabel 4.15). Pada tahap ini sangat penting untuk menentukan *area* wilayah kerja, elevasi rencana kerja untuk penempatan struktur, serta bentuk dan dimensi dari fondasi tiang bor beserta *pile cap*-nya.

Tabel 4.15 Rekapitulasi model material

Parameter Tanah	Nama /simbol	Sandy loam (Layer 1)	Loamy sand (Layer 2)	Silty (Layer3)	Bored-pile Dia 1200	Unit
Model material	model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Linear-elastic	-
Tipe material	tipe	Undrained	Undrained	Undrained	Non porous	-
Berat isi kosong	γ_{unsat}	13,753	14,275	11,793	24	kN/m ³
Berat isi jenuh	γ_{sat}	18,555	20,058	17,977		kN/m ³
Modulus Young's	E	10667	13346	15942	25332084,4	kPa
Poisson ratio	ν	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Kohesi	c	1,962	0,98	5,88		kPa
Sudut geser	ϕ	27,92	27,47	25,64		°
Sudut dilatasi	ψ	0	0	0	-	°
Interface	R_{inter}	0,34	0,33	0,31	1	-

2. Data Fondasi Tiang Bor

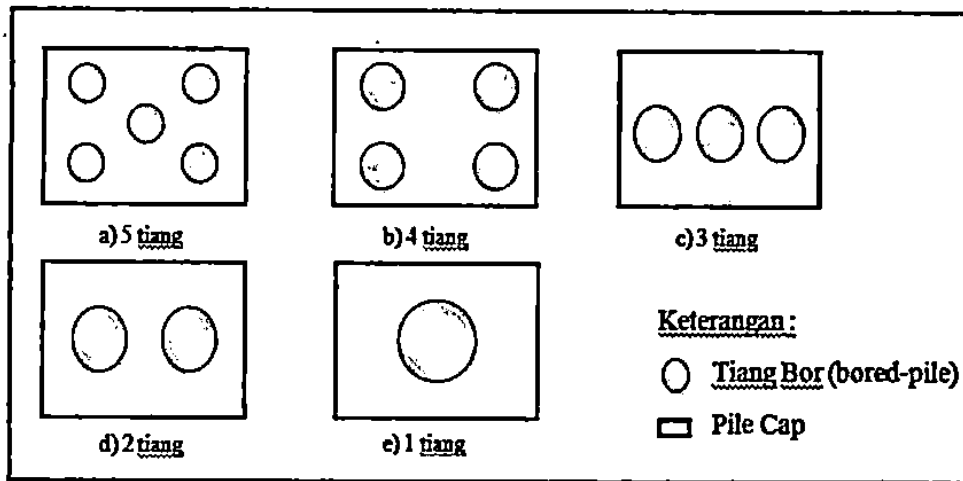
Berikut ini adalah beberapa informasi tentang data struktur fondasi *existing* yang akan dimodelkan :

- a. Panjang Tiang bor : 30 m
- b. Kedalaman struktur *pile cap* (galian) : - 4 m
- c. Kedalaman ujung tiang bor : - 34 m
- d. Kedalaman tanah maksimum (model) : - 36 m
- e. Jumlah tiang bor : 6 buah
- f. Diameter tiang bor : 1,20 m
- g. Total luas penampang tiang bor : 6,786 m²
- h. Dimensi *pile cap* : 9 m x 6 m = 36 m²
- i. Tebal *pile cap* : 2,50m

Untuk mengetahui pengaruh diameter tiang bor terhadap gaya-gaya dan deformasi yang terjadi, maka dilakukan pemodelan ulang dengan cara simplifikasi jumlah tiang sehingga luasan tiang bor berubah sesuai dengan faktor grup. Jumlah tiang yang diujikan adalah 5, 4, 3, 2 dan 1 tiang (Gambar 4.39). Hasil dari semua model hasil simplifikasi akan dibandingkan dengan hasil kondisi eksisting sehingga diharapkan diketahui rasio besar gaya dan deformasi.

Tabel 4.16 Simplifikasi Tiang

Rasio (<i>group factor</i>)	Jumlah tiang	Diameter (m)
1	6	1.20
1,2	5	1.30
1,5	4	1.50
2	3	1.70
3	2	2.10
6	1	3.00



Gambar 4.39 Susunan tiang bor hasil simplifikasi

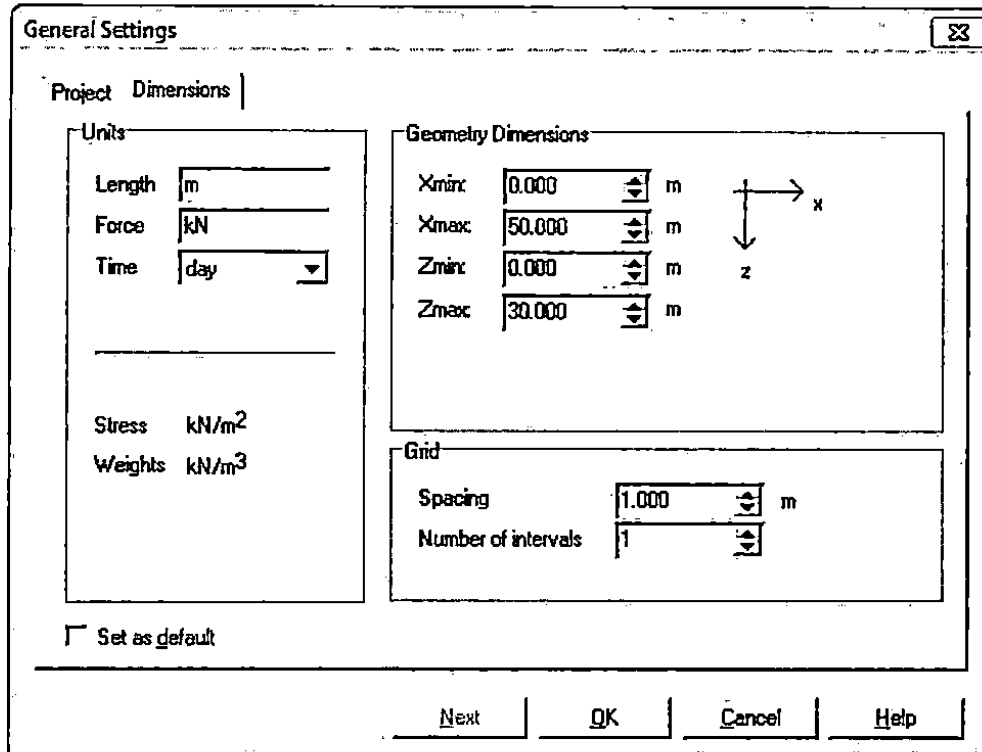
3. Langkah-langkah pengoperasian PLAXIS 3D Foundation

Pengoperasian program *Plaxis 3D Foundation* mengikuti langkah – langkah sebagai berikut :

a. Pengaturan nama, satuan, dan dimensi kerja

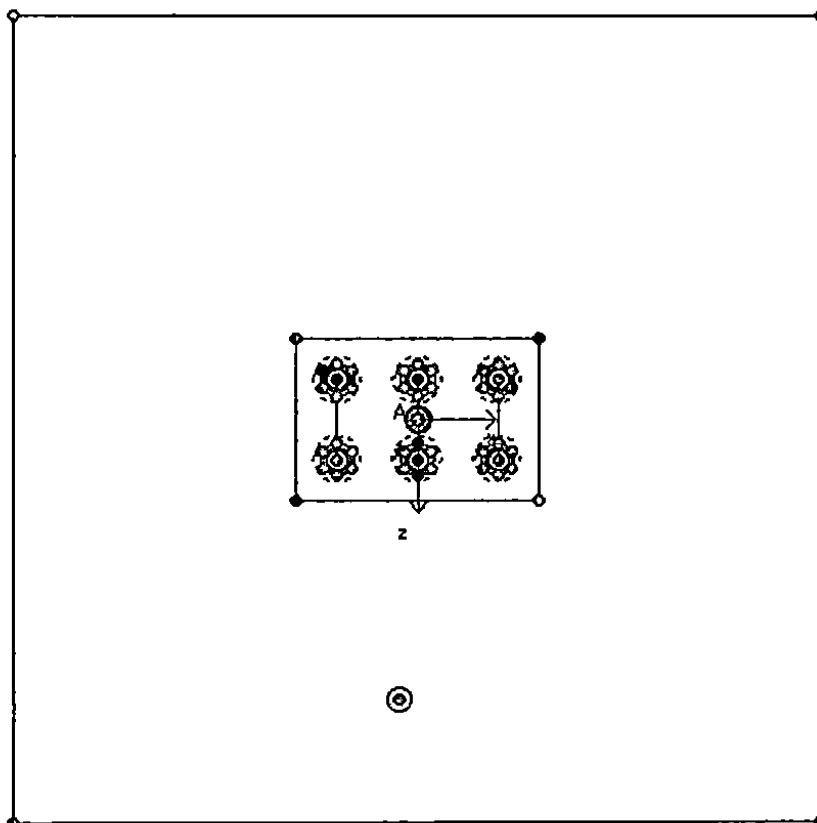
The screenshot shows the 'General Settings' dialog box with the 'Project' tab selected. The 'Project' section contains the following fields: 'Project' (empty), 'Filename' (set to '<NoName>'), 'Directory' (set to '...'), and 'Title' (set to 'fondasi 6 tiang'). The 'Comments' section is empty. The 'General' section contains the following settings: 'Gravity' is set to '1.0 G (-Y)', 'Earth gravity' is set to '9.800 m/s²', and 'γwater' is set to '10.000 kN/m³'. At the bottom of the dialog, there are four buttons: 'Next', 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Gambar 4.40 Pengaturan judul project



Gambar 4.41 Pengaturan dimensi geometri

b. Pemodelan geometri tanah dan struktur dengan geometri line



Gambar 4.42 Pemodelan garis geometri tanah dan struktur

Floors 83

Material set: Comments:

Properties

d: m γ : kN/m³

Isotropic

E1: kN/m² G12: kN/m²

E2: kN/m² G13: kN/m²

E3: kN/m² G23: kN/m²

ν 12:

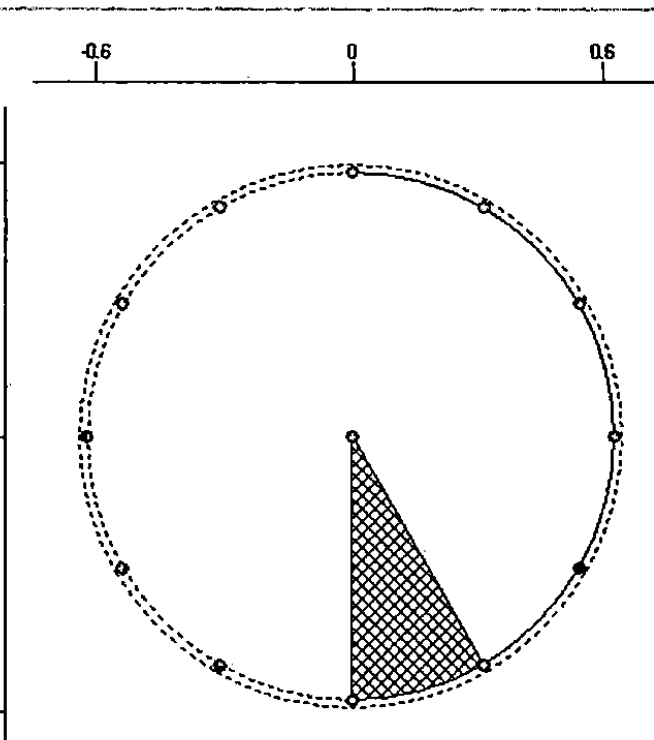
ν 13:

ν 23:

OK Cancel Help

Gambar 4.43 Pengaturan material struktur *pile cap*

Piles 83



Type of pile:

Diameter: m

Outside interface

Section 6

Angle: °

OK Cancel Help

Gambar 4.44 pengaturan dimensi struktur tiang bor

c. Pengaturan *material properties soil*

Mohr-Coulomb - Sandy Loam ✖

General | Parameters | Interfaces |

Material Set

Identification:

Material model:

Material type:

General properties

γ_{unsat} kN/m³

γ_{sat} kN/m³

Comments

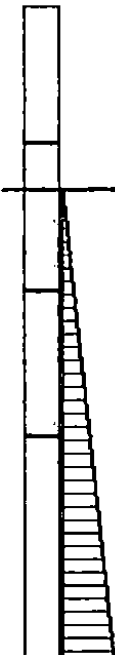
Permeability

[Advanced...](#)

Gambar 4.45 Pengaturan material tanah

d. Penentuan parameter material lapisan tanah (*borehole*) dan tiang fondasi

Borehole 4 (23.93, -1.35) ✖



Layers

☑

Layer Boundary	γ [m]	WPress+ [kN/m ²]	WPress- [kN/m ²]
1	0.000	0.000	0.000
2	-7.500	0.000	0.000
3	-15.500	-55.000	-55.000
4	-23.500	-135.000	-135.000
5	-35.000	-260.000	-260.000

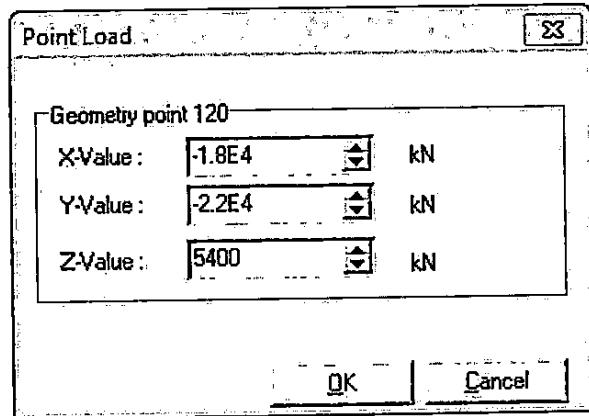
Hydrostatic

Water level:

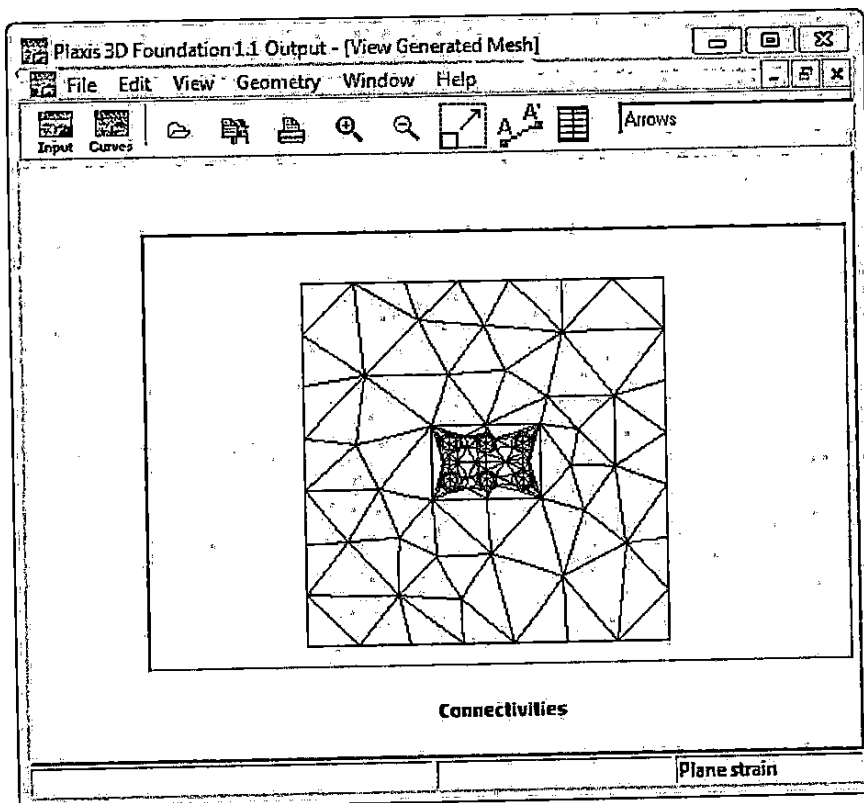
OK

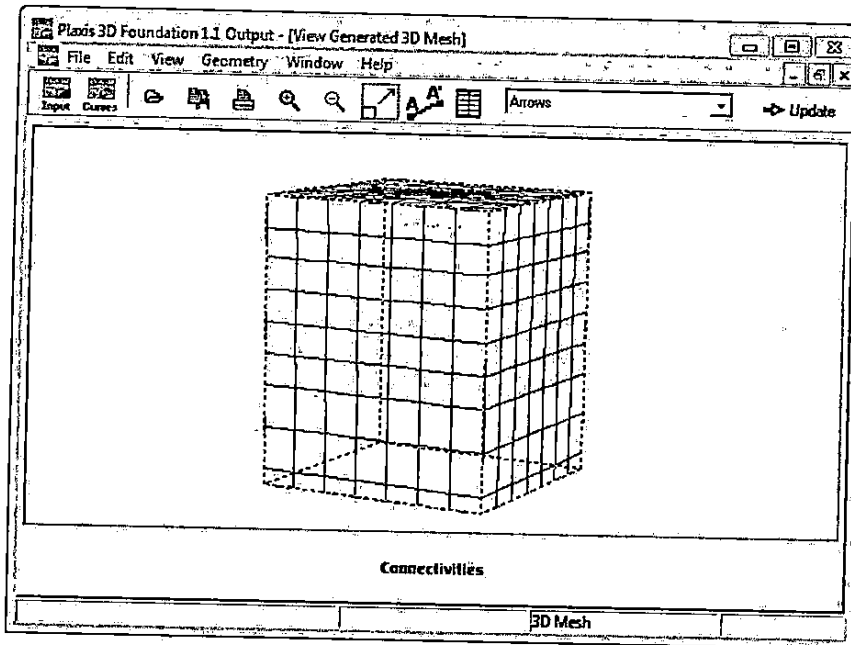
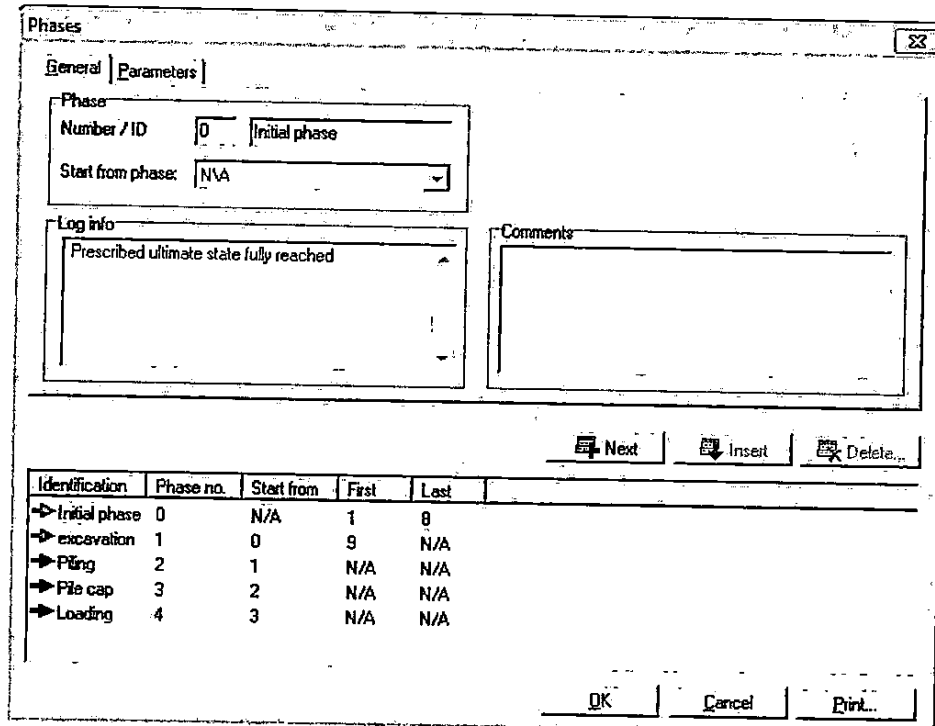
Gambar 4.46 Penentuan lapisan tanah (*borehole*)

e. Penentuan pembebanan



Gambar 4.47 Penentuan beban pada model fondasi

f. Penyusunan jaring elemen secara 3D (*meshing*)Gambar 4.48 Pembuatan *mesh* 2D

Gambar 4.49 Pembuatan *Mesh* 3Dg. Pendefinisian langkah kerja (*phases*)

Gambar 4.50 Fase-pase perhitungan

h. Menjalankan hasil pemodelan (*calculate*)

Plaxis 3D Foundation 3D Plastic Calculation - XXSNFXX - Initial phase

Total multipliers at the end of previous loading step		Calculation progress	
Σ -Mstage:	0.000	PMax	0.000
Σ -MloadA:	1.000	Σ -Marea:	1.000
Σ -MloadB:	1.000	Force-X:	0.000
Σ -Mweight:	1.000	Force-Y:	0.000
Σ -Msf:	1.000	Force-Z:	0.000
		Stiffness:	1.000
		Time:	0.000

Iteration process of current step

Current step:	1	Max. steps:	250	Element	1746
Iteration:	0	Max. iterations:	50	Decomposition:	18 %
Global error:	0.000	Tolerance:	0.010	Calc. time:	4 s

Plastic points in current step

Plastic stress points:	0	Inaccurate:	0	Tolerated:	0
Plastic interface points:	0	Inaccurate:	0	Tolerated:	0
Tension points:	0	Cap/Hard points:	0	Apex points:	0

Forming preconditioner Cancel

Gambar 4.51 Proses perhitungan (*calculation*)

4. Proses perhitungan (*calculation*)

Dalam pemodelan *Plaxis 3D Foundation* perhitungan dilakukan secara bertahap berdasarkan fase demi fase. Penentuan fase biasanya didasarkan pada kondisi di lapangan dalam hal metode kerja namun lebih disederhanakan. Pada pemodelan ini fase-fase didasarkan pada metode pengerjaan konstruksi tiang bor. Adapun langkah-langkah perhitungan (*calculation*) pada kajian tiang bor ini terdiri dari fase-fase berikut :

- a. *Initial phase*, yaitu fase persiapan dimana kondisi tanah sudah memiliki tekanan tanah.
- b. *Excavation*, yaitu fase dimana tanah dilakukan penggalian guna memasang tiang bor pada elevasi yang direncanakan
- c. *Piling*, yaitu fase pembuatan tiang bor, dengan cara mengganti material tanah pada lapisan dengan material beton tiang bor.
- d. *Pile cap*, yaitu fase pembuatan pile cap di atas tiang bor kelompok,

- e. *Loading*, yaitu fase pemberian beban yang diletakkan pada *pile cap* secara sentris . beban yang diberikan adalah beban aksial dan beban geser

G. Analisis Data

Hasil akhir dari program PLAXIS 3D Foundation adalah berupa tabel gaya-gaya (momen, gaya geser, gaya aksial) dan *displacement* (arah sumbu x,y dan z) berdasarkan kedalaman tanah(lihat lampiran). Hasil tabel Plaxis 3D Foundation belum bisa menyimpulkan perilaku tiang bor, perilaku tiang bor baru bisa diketahui setelah data gaya dan *displacement* dikonversi menjadi grafik hubungan terhadap kedalaman. Yang menjadi petunjuk bahwa berhasil tidaknya hasil analisis elemen hingga yaitu dengan melihat bentuk kurva dengan kecenderungan bentuk kurva yang tersaji pada literature-literatur.

Setelah perilaku tiang bor dapat diterima selanjutnya adalah menganalisis gaya dalam tiang maksimum dan deformasi maksimum. Nilai yang didapat menjadi basis data (rasio 1) pembandingan untuk analisis ulang elemen hingga dengan menggunakan konfigurasi tiang yang disederhanakan dan dengan diameter yang berbeda. Kelompok tiang eksisting 6 tiang dibandingkan hasilnya dengan kelompok tiang yang terdiri dari 5, 4, 3, 2 dan 1 tiang. Analisis akhir dari penelitian ini adalah untuk mencari korelasi pertambahan rasio diameter tiang bor terhadap perubahan rasio gaya maupun deformasi yang terjadi